

I. Die Refractionsanomalien des Auges und ihre Folgen,

von

F. C. DONDERS.

Zu wiederholten Malen haben wir über Anomalien in der Refraction des Auges, ihre Erscheinungen und Folgen gehandelt [1]). In den betreffenden Arbeiten sind die Re-

1) F. C. Donders, *Nederl. Tijdschr. voor Geneeskunde.* Deel II, 1858 pg. 465.
» » *Ametropie en hare gevolgen.* 8°. Utrecht, van der Post. 1860.
» » *Archiv f. Ophthalmologie, herausgegeben* von Arlt, Donders en v. Graefe. Bd. IV, VI, VII, VIII.
» » *Verslagen en Mededeelingen van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen.* D. XI, pg. 159, D. XIV, pg. 351, D. XVI etc. Amsterdam.
» » *Astigmatisme en cilindrische glazen*, 8°. Utrecht, van der Post. 1862.
Deutsch von Dr. Schweigger bei Peters, Berlin.
Französisch von Dr. Dor, bei Germer Baillière. Paris.
De Ruyter, *De Actione Atropae Belladonnae in iridem.* Diss. inaug. 1854 (S. *Nederl. Lancet.* D. III).

sultate einer vor sechs Jahren angefangenen Untersuchung, zu der viele tausende von Augen verwendet wurden, und an der sich auch einige meiner Schüler betheiligten, zum Theile enthalten.

Der behandelte Gegenstand gewann durch diese Untersuchung sehr an Umfang; unsere Kenntniss desselben wurde aber nebenbei durch Anweisung des Zusammenhanges von Ursachen und Folgen gründlicher, sowie die Uebersicht leichter.

Das Meiste wurde mit specieller Rücksicht auf die Bedürfnisse des Augenarztes geschrieben. Hier habe ich versucht einen kurzen Umriss des Systems zu liefern, insofern es besonders den Physiker und den Physiologen interessiren konnte.

I. Emmetropie und Ametropie.

I. Die Augen werden in emmetropische und ametropi-

Mac. Gillavry, *Over de hoegrootheid van het accomodatievermogen.* Utrecht, 1858.

A. H. Kuyper. *Onderzoekingen betrekkelijk de kunstmatige verwijding van den oogappel.* Utrecht, 1859.

H. de Brieder, *De stoornissen der Accomodatie van het oog.* Utr. 1861.

De Haas, *Geschiedkundig onderzoek omtrent de Hypermetropie en hare gevolgen.* Utrecht, 1862.

F. C. Donders en D. Doyer. *De ligging van het draaipunt van het oog* (in emmetropische en ametropische oogen), in *Verslagen en Mededeelingen van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen.* Deel XIV, pg. 351. 1862.

Dr. Dor, *Des différences individuelles de la réfraction de l'oeil. Journal de Physiologie* von Brown-Séquard. Paris. 1860.

Noch verdienen hier erwähnt zu werden:

Dr. H. Snellen, *Letterproeven ter bepaling der gezigtsscherpte.* Utrecht, 1862.

J. Vroesom de Haan. *Onderzoek naar den invloed van den leeftijd op de gezigtsscherpte.* Utrecht, 1862.

sche unterschieden. Bei der Emmetropie E [1]) liegt der hintere Brennpunkt φ'' des dioptrischen Systems, im Ruhezustande der Accommodation, gerade in der Netzhaut;

1) Wir haben uns folgende Verkürzungen erlaubt:

E	Emmetropia.
M	Myopia.
H	Hypermetropia.
Hm	» manifesta.
Hl	» latens.
Ht	» totalis.
As.	Astigmatismus.
Pr.	Presbyopie.
p.	Punctum *proximum*, nächster Punkt. } des deutlichen Sehens.
r.	Punctum *remotissimum*, fernster Punkt. } des deutlichen Sehens.
P.	Entfernung von p bis k'.
R.	» von r bis k'.
$\frac{1}{A}$.	Absolute Accomodationsbreite.
$\frac{1}{A_1}$.	Relative »
$\frac{1}{A_2}$.	Binoculäre »
ϱ°.	Krümmungsradius der Hornhaut in der Sehlinie.
p_1.	relativ nächster Punkt.
p_2.	binoculär nächster Punkt.
r_1.	relativ fernster Punkt.
r_2.	binoculär fernster Punkt.
P_1.	Entfernung von p_1 bis k'.
P_2.	» » p_2 » k''.
R_1.	» » r_1 » k'.
R_2.	» » r_2 » k''.
c.	Convergenzpunkt der Sehlinien.
k'.	vorderer Knotenpunkt.
k''.	hinterer »
φ'.	vorderer Brennpunkt.
φ''.	hinterer »
l.	Brennweite einer gläsernen Linse.
l'.	» » Hülfslinse des Auges.

bei der Ametropie liegt φ'' vor (Myopie M) oder hinter der Netzhaut (Hypermetropie H).

II. Der *Fernpunkt des deutlichen Sehens* r liegt mithin für E in unendlicher Entfernung (∞), für M in endlieher vor, nnd für H in endlicher hinter der Netzhaut. Die Entfernung des Auges (und zwar bestimmter des vorderen Knotenpunktes k') von r ist R. Bei M ist R positiv, bei H negativ, bei E unendlich.

Der *Nahepunkt des deutlichen Sehens* ist p; seine Entfernung von k' ist P. Die Aceomodationsbreite ist

$$\frac{1}{P} - \frac{1}{R} = \frac{1}{A}.$$

III. Der Punkt r wird bei paralellen Gesichtslinien bestimmt, d. h. dureh Bestimmung der Gläser, die nöthig sind, um Liehtpunkte oder feine Linien in grosser Entfernung scharf zu sehen. Um p zu finden, nehme men am besten feine Drähte oder sehr kleine Lichtpunkte, die beim freien Sehen dem Auge so lange genähert werden, bis das Bild anfängt an Sehärfe zu verlieren. Dies soll bei nahezu der stärksten Convergenz der Gesichtslinien gesehehen; bei H und öfters aueh bei E werden daher bei der Bestimmnng von p convexe Gläser nöthig sein, um deren Wirkung der gefundene Punkt redueirt werden muss.

IV. Die Messung des Krümmungsstrahles ϱ°, an 200 Hornhäuten von emmetropischen und stark ametropischen Augen mit dem Ophthalmometer von Helmholtz ausgeführt, hat ergeben, dass in der Gesichtslinie der Radius bei Ametropie und Emmetropie nahezu gleieh ist.

Als Mittel wurden gefunden, bei:

		Männer.	Frauen.
Emmetropen	ϱ° =	7,785 mm.	7,719 mm.
Myopen	ϱ° =	7,874 „	7,867 „
Hypermetropen	ϱ° =	7,96 „	7,767 „

V. In myopischen Augen liegt die Linse tiefer, und dadureh wird die Brennweite des Systems etwas grösser;

die Brennweite der Linse ist nicht kleiner gefunden worden. Im hypermetropischen Auge liegt die Linse der Hornhaut näher, wesshalb die Brennweite des Systems in dem Falle kleiner wird.

VI. Aus IV und V wird per exclusionem der Schluss gezogen, dass die Sehachse im myopischen Auge länger, im hypermetropischen dagegen kürzer ist. Dies ist auch direct bewiesen worden: a) durch Bestimmung der Form des Augenapfels während des Lebens, die manchmal ausführbar ist, wenn die Gesichtslinie soweit wie möglich nach innen geführt wird; b) durch Messung nach dem Tode an zahlreichen Fällen von M und einigen von H; c) durch Berechnung aus der (durch den Krümmungsstrahl ϱ° bekannten) Brennweite der Hornhaut eines Auges ohne Linse (Aphakie) und aus der des Glases, welches nöthig ist, um den Brennpunkt auf die Netzhaut fallen zu lassen, und zwar an Augen, deren Ametropie vor der Extraction der Linse bestimmt werden konnte. — Möglich ist, dass H mitunter auch durch eine grössere Focal-Distanz einer flacheren Linse verursacht wird.

VII. Die Hornhaut verursacht nur bei Krankheiten derselben M, mitunter auch wohl H; ihre Brechung ist dann auch meistens sehr unregelmässig. Im Folgenden sind diese relativ höchst seltenen Fälle von M und H ausgeschlossen.

VIII. Die individuellen Unterschiede der emmetropischen Augen sind so gering, dass man sich, nach dem Beispiele von Listing, erlauben darf, den meisten Berechnungen ein schematisches Auge zu Grunde zu legen. Bei M und H weicht nur hauptsächlich die Länge der Sehachse ab; dieselbe Lage der kardinalen Punkte kann daher angenommen werden.

IX. Die Grade von H und M werden als $\frac{1}{l'}$ bestimmt, wobei l' die Brennweite (positive oder negative) einer unendlich dünnen Linse ist, die in Luft stehend und mit

k' zusammenfallend gedacht wird. Der Werth von *l'* wird in Pariser Zoll ausgedrückt. M $= \frac{1}{5}$, H $= \frac{1}{10}$, bedeutet M bei welcher eine Linse von 5″ negativer, H wobei eine Linse von 10″ positiver Brennweite (beide in *k'* gedacht) zur Correction erfordert wird, d. h. um den Brennpunct auf die Netzhaut fallen zu lassen oder, mit anderen Worten, um in unendlicher Ferne deutlich zu sehen.

X. Die Stärke der Gläser wird auf dieselbe Weise durch $^1/_l$ angegeben. Gläser von $^1/_7$, von $-^1/_9$, sind Gläser von 7″ positiver, von 9″ negativer Brennweite.

XI. Ungefähr gegen das 50ste Lebensjahr geht E allmählig in H über. Diese erworbene H erreicht aber im höchsten Alter selten mehr als $^1/_{20}$. Sie hängt nicht vom Flacherwerden der Hornhaut ab, deren Krümmungsstrahl bei alten Leuten vielmehr etwas abnimmt. Wir fanden nämlich:

Bei 79	Männern			im Mittel ϱ^0	= 7,858
„ 20	„	unter 20	Jahren	„ „ „	= 7,932
„ 51	„	„ 40	„	„ „ „	= 7,882
„ 28	„	über 40	„	„ „ „	= 7,819
„ 11	„	„ 60	„	„ „ „	= 7,809
Bei 38	Frauen			„ „ „	= 7,798
„ 6	„	unter 20	Jahren	„ „ „	= 7,720
„ 22	„	„ 40	„	„ „ „	= 7,799
„ 16	„	über 40	„	„ „ „	= 7,799
„ 2	„	„ 60	„	„ „ „	= 7,607

Grössere Brennweite der Linse, theils durch Abflachung derselben, theils durch Verhärtung mit *wachsendem* Lichtbrechungscoefficienten der *äussern* Schichten bewirkt, so wie Verkürzung der Sehachse in *sehr* hohem Alter, sind als Ursachen der erhaltenen (nicht angeborenen) H zu betrachten.

XII. M ist oft erblich, fast immer als wirklich oder in der Disposition angeboren, nimmt in den Entwickelungsjahren zu und bleibt trotz der später zunehmenden Brennweite der Linse (XI) während des ganzen Lebens progressiv, wenn sie in hohem Grade ($^1/_5$ oder mehr) vorkommt. Als

solche und sogar bei geringeren Graden, ist M eine Krankkeit des Auges, auf zunehmender krankhaften Ausdehnung der Membranen beruhend, verbunden mit ophthalmoskopisch (mit dem Augenspiegel) wahrnehmbarer Atrophie und oft mit entzündlichen Erscheinungen im Augengrunde, und mancherlei Abweichungen mehr oder weniger nothwendig mit sich führend.

XIII. M kommt in allen Graden von $\frac{1}{\infty}$ (emmetropisches Auge) bis $\frac{1}{1,3}$ vor. Grade von $^1/_5$, $^1/_4$, $^1/_3$ und sogar von $\frac{1}{2,5}$ sind nicht selten. Alle Grenzen zwischen hohen und niederen Graden sind willkührlich. Bei $\frac{1}{\infty}$ hat die Sehachse eine Länge von 22—23 Mm, bei M $\frac{1}{1,3}$ ungefähr von 37 Mm. Bei hohen Graden von M ist, wie die ophthalmoskopische Untersuchung lehrt, M im höheren Grade vorhanden beim directen Sehen (d. h. im gelben Fleck) als beim indirecten Sehen: die Ausdehnung der Membrane ist an dem hinteren Pole am stärksten.

XIV. H ist meistens erblich, dann auch wahrscheinlich angeboren, und nimmt namentlich nach dem fünfzigsten Jahre, zur Zeit, wo sich, bei ursprünglich vorhandener E, H erst zu entwickeln anfängt (XI), etwas zu. Die geringsten Grade kommen am häufigsten vor; Grade von $^1/_6$ sind schon ziemlich selten; solche von $^1/_4$, $^1/_3$ oder noch stärkere werden nur ausnahmsweise angetroffen.

XV. H wird zunächst in *manifeste* Hm, und *latente* Hl unterschieden. Nur bei Hm wird mit positiven Gläsern deutlicher in der Entfernung gesehen, bei Hl werden sie geweigert. H ist nämlich bei Hl durch instinctmässige, von der Gewohnheit beherrschte und nicht willkührlich aufzuhebende Anstrengung der Accommodation unterdrückt.

XVI. Je grösser $^1/_A$, um so höhere Grade von H werden ganz latent. Sogar mässige Grade sind aber schon theilweise manifest, beim Aelter werden immer und bleibend wegen

Abnahme von $^1/_A$, aber auch temporär schon in der Jugend besonders durch Ermüdung von der Anstrengung.

XVII. Lähmung der Accommodation, zeitlieh durch Einträufelung von sulphas atropini hervorgerufen ($\frac{1}{120}$, d. h. 1 Th. sulph. atr. auf 120 Th. Wasser) lässt die H nach 1 oder 2 Stunden vollkommen manifest werden. Wenn $^1/_A$ sehr gross ist, so kann Hm dadurch von $1/_\infty$ bis auf $^1/_8$ und sogar $^1/_6$, von $^1/_{16}$ auf $^1/_5$ u. s. w. steigen. — Bei E und bei M nimmt die Refraction durch Lähmung der Accommodation kaum um $^1/_{80}$ ab.

XVIII. Hm ist weiter *absolut*, wobei, trotz der intensivsten Accommodationsanstrengung, φ'' hinter der Netzhaut liegt, oder *relativ*, wobei ein scharf gesehener Punkt p' mehr von dem Auge entfernt ist, als der Convergenzpunkt der Gesichtslinien c, — oder *facultativ*, und kann dann durch die Accommodation ganz verborgen werden, ohne dass aber schwache positive Gläser für das Sehen in der Ferne geweigert werden. H, in jugendlichem Alter facultativ, wird beim Abnehmen von $\frac{1}{A}$ bald relativ, später absolut.

XIX. H wurde van Ware (1813) beobachtet und richtig charakterisirt, blieb aber später unerwähnt und wurde erst von Ruete (1854) unvollkommen, von Stellwag von Carion und von von Graefe besser verstanden. Unsere Beobachtungen lehrten, dass geringe und mässige Grade von H sehr häufig sind, sogar öfter angetroffen werden als M, mitunter ganz latent sind und, einige Male schon bei der latenten Form, zwei wichtige, früher nieht erklärte Anomalien bedingen: *convergirendes Schielen* und *Asthenopie*, oder hebetudo (Ermüdung bei Anstrengung für die Nähe).

XX. Die Ursache, warum H, trotz ihres häufigen Vorkommens, so lange verborgen blieb, mag wohl darin gelegen sein, dass bei *sehr hohen* Graden von H kleine Gegenstände, z. B. Druckschrift von mittlerer Grösse, — theils wegen

der schnelleren Zunahme des Gesichtswinkels als der Zerstreuungskreise (von Graefe), theils wegen den zukommenden Verengerung der Pupille — nahe beim Auge besser gesehen werden als in einiger Entfernung, was man als M mit Sehschwäche betrachtete; und weiter daher, dass die geringeren Grade von H in der Jugend latent sind und später mit Presbyopie verwechselt wurden.

2. Accommodationsbreite (absolute, relative, binoculäre) bei Emmetropie und Ametropie.

XXI. Das Accommodationsvermögen beruht auf einer Formveränderung, einer Zunahme der Convexität, der Linse, was Young aus guten Gründen annahm, von Langenbeck, namentlich aber von Cramer für die vordere Fläche aus der Veränderung ihres Reflexionsbildes direct nachgewiesen wurde, und Helmholtz auch für die hintere Fläche bewies (in geringerem Grade), für die beiden Flächen mass und so gross fand, das die üblichen Grenzen der Accommodation daraus wohl erklärt werden konnten.

XXII. Formveränderung der Hornhaut kommt bei der Accommodation nicht vor; Verlängerung der Sehachse wurde schon von Thomas Young widerlegt. Die Accommodation scheint daher *ausschliesslich* auf Formveränderung der Linse zu beruhen. Knapp fand die sorgfältig an vier Augen gemessene Formveränderung der Linse ziemlich entsprechend der zugleich durch Sehversuche bestimmten $\frac{1}{A}$.

XXIII. Bisher nahm man gewöhnlich noch einen gewissen Grad der Accommodation bei Abwesenheit der Linse (Aphakie) an. Wir haben dargethan, dass in diesem Zustande, sogar bei jugendlichen Individuen, nicht die geringste Spur von Accommodation vorhanden ist: bei Anstrengung zur Accommodation, kennbar aus zunehmender Convergenz durch Bewegung des einen (bedeckten) Auges

und aus Verengerung der Pupille beider Augen, behielt ein entfernter vermittelst eines passenden Glases scharf gesehener Lichtpunkt ganz dieselbe Form als bei paralellen Gesichtslinien ohne irgend eine Anstrengung, obgleich Gläser von $^1/_{300}$ (combinirt aus $^1/_{50}$ mit — $^1/_{60}$ oder umgekehrt) hinreichten, um eine deutliche Formveränderung hervorzubringen.

Hierin liegt der positive Beweis, dass die Accommodation *ausschliesslich* durch Formveränderung der Linse bedingt wird.

XXIV. $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$ (siehe III.) ist der Ausdruck für das dioptrische Vermögen einer positiven Linse, welche dem Auge durch die Accommodation zugefügt wird. Diese Weise, die Accommodationsbreite vorzustellen, stimmt mit der wirklichen Veränderung bei der Accommodation überein, die man durch die Hinzufügung eines positiven Meniscus als Hülfslinse auf der vorderen Fläche der Linse entstehend vorstellen kann.

XXV. Diese Hülfslinse $\frac{1}{l'}$ (wobei l' ihre Brennweite bedeutet) ist jedoch nicht vollkommen gleich $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$. Aus den Werthen von P und R und $\frac{1}{l'}$ (beide aus der Form der während des Lebens gemessenen Linse derselben Person bei Accommodation für die Ferne und Nähe berechnet) ging hervor, dass im emmetropischen Auge $\frac{1}{A} : \frac{1}{l'} = {}^1/_9 : {}^1/_{10}$.

XXVI. $\frac{1}{l'} : \frac{1}{A}$ ist weiterhin etwas verschieden bei M und H. Nehmen wir für die kardinalen Punkte gleiche Lage an, so stellt gleiche Formveränderung der Linse im myopischen Auge eine etwas kleinere, im hypermetropischen

eine etwas grössere Accommodationsbreite vor als im emmetropischen. (Bei hohen Graden von H, und bei den höchsten Graden von M, findet man für $\frac{1}{l'}$ und für $\frac{1}{A}$ beide, meistens einen kleineren Werth.)

XXVII. Ein Unterschied im Werthe von $\frac{1}{A}$ bei M und H mässigen Grades ist jedoch empirisch nicht gefunden worden; folglich scheint $\frac{1}{l'}$ bei Myopen absolut etwas grösser.

XXVIII. P und R, modificirt durch den Gebrauch von convexen oder concaven Linsen, nennen wir P_0 und R_0. Beim Gebrauche von concaven Gläsern werden P_0 und R_0 grösser, bei dem von convexen kleiner als P und R.

Weiter ist $\frac{1}{P_0} - \frac{1}{R_0}$ nicht $= \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$, sondern grösser bei Anwendung von concaven, kleiner beim Gebrauche von convexen Gläsern, und zwar umsomehr, je entfernter die Gläser vom Auge sind.

Durch Lupen nimmt $\frac{1}{A}$ noch mehr ab. Wie wenig beim Sehen durch Mikroskopen, Fernröhren und Telescopen übrig bleibt, findet man leicht, wenn gegeben sind:

$\frac{1}{A}$.

F′ Brennweite des Objectivs.

F″ „ des Oculars.

x Entfernung des Objectivs vom Ocular.

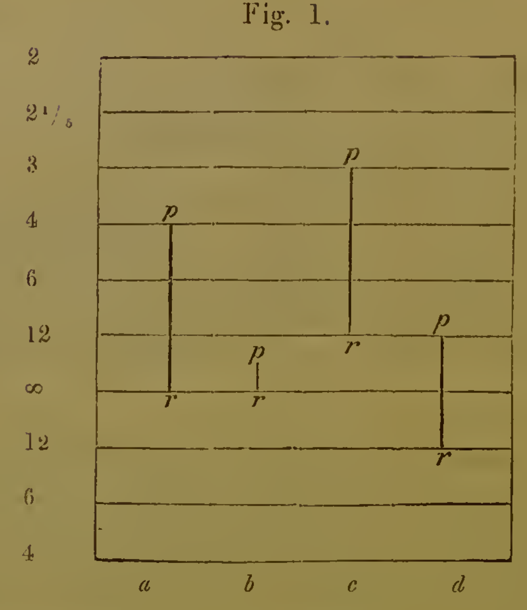
y „ des Oculars vom k'.

XXIX. Die verschiedenen Grade von M, H und $\frac{1}{A}$ können graphisch auf folgende Weise vorgestellt werden.

Die Zahlen 2 bis ∞ (Fig. 1) deuten die Entfernungen der Punkte des deutlichen Sehens vor k', die von ∞ bis 4 die

hinter k' an. Jede der Linien *a*, *b*, *c* und *d* vereinigt *p*

Fig. 1.

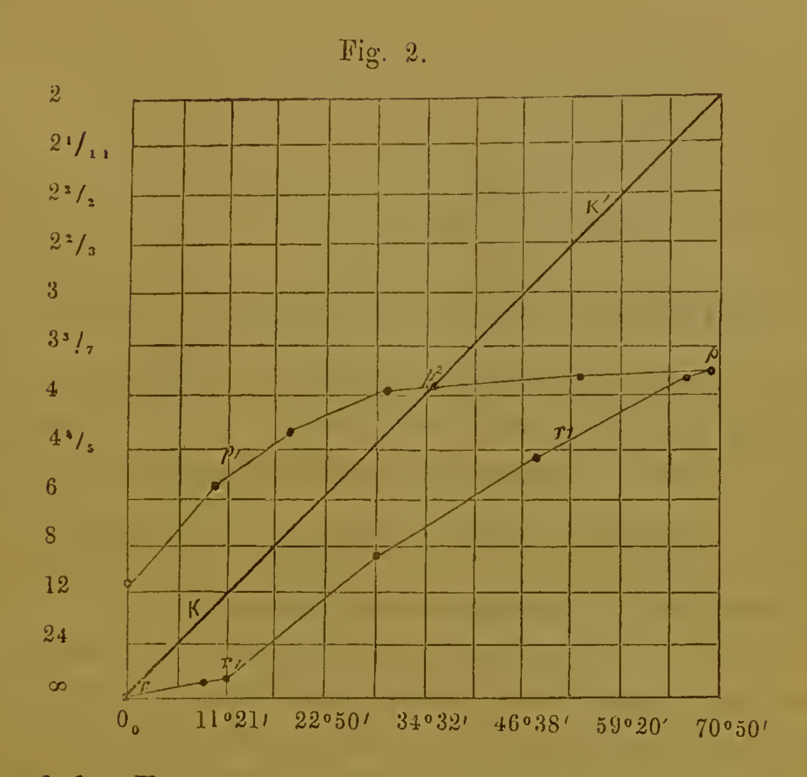


und *r*; die Accommodationsbreiten sind den Längen dieser Linien proportional. Die Linie *a* repräsentirt E mit $\frac{1}{A} = \frac{1}{4}$, b ebenfalls E mit $\frac{1}{A} = \frac{1}{24}$ (Presbyopie), c stellt $M = \frac{1}{12}$ vor, mit $\frac{1}{A} = \frac{1}{3} - \frac{1}{12} = \frac{1}{4}$, d endlich $H = \frac{1}{12}$, mit $\frac{1}{A} = \frac{1}{12} + \frac{1}{12} = \frac{1}{6}$.

XXX. Die Accommodationsbreite $\frac{1}{A}$ ist die absolute. Bei einer gewissen Convergenz der Gesichtslinien finden wir p_1 und r_1 sowie ihre Entfernungen von k', P_1 und R_1, endlich $\frac{1}{A_1} = \frac{1}{P_1} - \frac{1}{R_1}$ als die *relative* Accommodationsbreite *bei einer gegebenen Convergenz*. — Weiter unterscheiden wir den binoculären Fernpunkt und Nahepunkt (für beide Augen zugleich) p_2 und r_2, ihre Entfernungen von k', P_2 und R_2 und die binoculäre Accommodationsbreite $\frac{1}{P_2} - \frac{1}{R_2} = \frac{1}{A_2}$.

XXXI. Fig. 2 zeigt den Verlauf der Nahepunkte p_1

Fig. 2.



p_2 p und der Fernpunkte r r_1 r_1 bei verschiedener Convergenz, in einem gut accommodirenden emmetropischen Auge eines intelligenten 15jährigen Individuums (siehe XXXIV). Die Zahlen haben dieselbe Bedeutung wie oben; die unterhalb der Figur vorkommenden geben die Winkel im Convergenzpunkte der Gesichtslinien an, unter Annahme einer Entfernung von 28½″ zwischen den paralellen Gesichtslinien beider Augen berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Convergenzen angeben, schneiden sich mit den horizontalen, welche die diesen Convergenzen entsprechenden Entfernungen angeben, auf der Diagonale K K′. Die anderen Buchstaben sind bekannt.

XXXII. Kennt man die Linien p_1 p_2 p und r r_1 r_1, in Bezug auf die Convergenzen, so ist alles auf die Accommodation Bezügliche bekannt. So wird aus Fig. 2 hergeleitet:

E

$\frac{1}{A} = 1 : 3\tfrac{9}{13}$.

$\frac{1}{A_2} = 1 : 3\tfrac{27}{31}$.

$\frac{1}{A_1}$ bei 11° 21′ $= 1 : 5\tfrac{7}{8}$, u. s. w.

XXXIII. Fig. 2 lehrt uns weiter, dass $\frac{1}{A_1}$ bis an p_2 zum Theile über, zum Theile unter K K′ liegt; jener ist der positive, dieser der negative Theil der relativen Accommodationsbreite. Accommodation kann nur für eine Entfernung angehalten werden, deren positiver Theil von $\frac{1}{A_1}$ nicht zu klein ist in Verhältniss zum negativen.

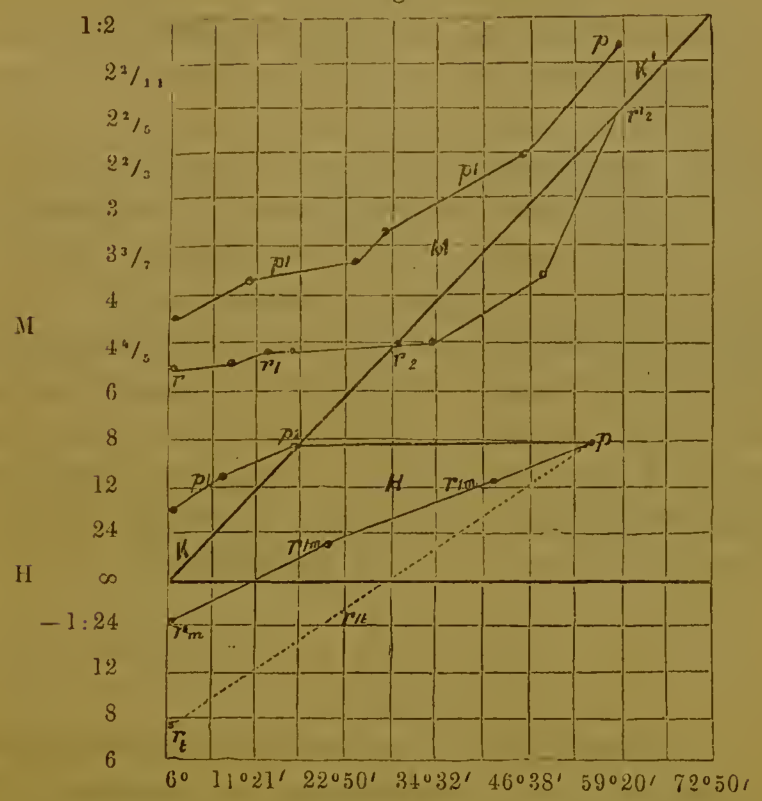
XXXIV. Um die Linien p_1 p_2 p und r r_1 r_1 zu finden, muss man, ausser p und r, mit verschiedenen convexen und concaven Gläsern p_0 und r_0 bestimmen, jedesmal die entsprechenden Convergenzen notiren, und daraus (durch Reduktion von p_0 und r_0 je nach der Brennweite der angewendeten Gläser und ihrer Entfernung von dem Auge) die den Convergenzen entsprechenden p_1 und r_1 berechnen. Die schwarzen Punkte sind die auf diese Weise gefundenen (Fig. 2 und 3).

XXXV. Diese Bestimmungen machte ich mit einem Optometer, in dem die Gläser (welche jedesmal so weit von einander gestellt wurden als die paralellen Sehachsen der untersuchten Augen), 0,5 von k' entfernt, in Aushöhlungen bewegt wurden, die als Bogen aus den Drehpunkten der Augen beschrieben waren, so dass das Glas stets gleichweit von k' entfernt blieb und die Sehachsen bei jeder Convergenz mit den Achsen der Gläser zusammenfielen.

XXXVI. Die Abweichung in der Form der Linien p_1 p_2 p und r r_1 r_1 bei M (Fig. 3 M) und H (Fig. 3 H) ist sehr merkwürdig.

Es geht daraus hervor, dass Myopen bei geringen Con-

Fig. 3.



vergenzgraden viel weniger, Hypermetropen viel mehr accommodiren können und müssen als Emmetropen (Fig. 2). Bei Hypermetropen hat man nach der Paralyse nur den Punkt r zu bestimmen als r_t, den Fernpunkt der totalen H, in Fig. 3 angegeben. Die Punkte r_1 (r_{1m} in der Figur) liegen höher, als dies der Fall sein würde, wenn H nicht zum grossen Theile latent wäre, und sind darum in der Figur als r_{1m} angedeutet (das ist r_1 bei manifester H). Der latente Theil wird bei paralellen Gesichtslinien als vertikale Entfernung von r_m und r_t vorgestellt und beträgt in unserem Falle $\frac{1}{11}$, während die totale Hypermetropie H oder H_t = $\frac{1}{7{,}5}$ ist.

XXXVII. Die Abweichung in der Form der Linien ist Folge von Uebung. Myopen üben sich darin, dass sie bei geringer Convergenz sehr wenig, Hypermetropen dagegen,

dass sie sehr viel dabei accommodiren. Durch den constanten Gebrauch von corrigirenden Brillengläsern nähert sich die Form der Linien mehr und mehr der von Emmetropen. Ein kurz währender Gebrauch von Brillengläsern zeigt schon seinen Einfluss.

XXXVIII. Die Form der Linien p_1 p_2 p und r r_1 r_2 bei Ametropen zeigt, dass das Auge beim Neutralisiren der Ametropie durch concave oder convexe Gläser einem emmetropischen Auge nicht gleich geworden ist.

XXXIX. Dies erklärt, warum nicht jede Ametropie unmittelbar ganz neutralisirt werden darf. Um dies deutlich einzusehen, bringe man r bei Ametropie (Fig. 3) auf ∞ und reducire die Linien demgemäss. — Indessen erhält man dabei nicht vollkommen, was beim Neutralisiren der Ametropie wirklich erhalten wird (S. XXVIII).

3. Sehschärfe und Projection bei Emmetropie und Ametropie.

XL. Die Sehschärfe S von verschiedenen Individuen wird verglichen durch Bestimmung des kleinsten Winkels, unter dem sie Gegenstände von bekannter Form bei gehöriger Beleuchtung erkennen. Als Gegenstände können viereckige Buchstaben benutzt werden (siehe Buchstaben-Proben von Snellen), wobei man das Erkennen dadurch controliren kann, dass man die Buchstaben hersagen lässt. Das normale Auge erkennt die Buchstaben unter einem Winkel von fünf Minuten, Manche schon unter einem etwas kleineren Winkel.

Die Buchstabenproben von Snellen sind mit der Entfernung D bezeichnet, in welcher sie sich unter einem Winkel von 5′ zeigen. Bestimmt man nun die Entfernung d, in welcher ein Auge sie erkennt, so findet man die Sehschärfe $S = \frac{d}{D}$. Bei vollkommener Sehschärfe ist $d = D$ und $S = 1$.

XLI. Bei M ist S *oft* unvollkommen, bei M > $\frac{1}{6}$ *gewöhnlich*, es sei dann, dass M angeboren und das Individuum noch sehr jung sei; bei M > $\frac{1}{5}$ ist die Unvollkommenheit *Regel*, bei M > $\frac{1}{4}$ *Regel ohne Ausnahme*..

XLII. Bei M sind die Netzhautbilder für gleiche Winkel, unter denen die Gegenstände gesehen werden, bei der grösseren Entfernung von *k''* von der Netzhaut, grösser. Von der anderen Seite aber ist auch die Netzhaut in Folge der Ausdehnung grösser, und enthält daher in einer gegebenen Fläche weniger percipirende Elemente. Bei vollkommener Compensation dieser beiden Factoren würden die Netzhautbilder gleiche Grösse behalten können und S gleich bleiben. Dass S bei starken Graden von M in der Gesichtslinie fast stets abnimmt, ist, abgesehen von krankhaften Veränderungen, aus der anatomisch constatirten grösseren Ausdehnung in der Gegend der macula lutea zu erklären.

XLIII. Bei der Bestimmung mit concaven, die Myopie neutralisirenden, Gläsern fällt S noch geringer aus, weil (das Glas mit zum dioptrischen Systeme gerechnet) der zweite Knotenpunkt näher bei der Netzhaut liegt und die Netzhautbilder mithin kleiner werden. Je näher die Gläser bei *k'*, um so eher neutralisiren sie die Myopie, um so weniger wird *k''* der Netzhaut genähert, um so geringeren Einfluss üben sie auf die Grösse der Netzhautbilder aus.

XLIV. Bei geringen Graden von H, bei welchen Anstrengung des Accommodationsvermögens sie noch besiegt, ist S nicht selten vollkommen. Inzwischen sind die Netzhautbilder kleiner als im emmetropischen Auge, weil *k''* der Netzhaut näher liegt; die Netzhaut hat aber auch eine kleinere Oberfläche, und wenn trotzdem die Anzahl der percipirenden Elemente gleich gross ist, so müssen sie näher an einander liegen. Es verdient näher untersucht zu werden, ob dies, namentlich in der fovea centralis, bei Hypermetropen wirklich der Fall ist.

XLV. Bei höheren Graden von H ist S nicht selten, bei den höchsten fast stets unvollkommen. Verschiedene Ursachen wirken hier zusammen: *a*) die Netzhautbilder sind kleiner; *b*) oft ist eine abnormale Asymmetrie der brechenden Flächen vorhanden; *c*) in den höchsten Graden von H ist das ganze Auge unvollkommen entwickelt, sowie auch der Sehnerv.

XLVI. Wenn bei H, durch biconvexe vor dem Auge befindliche Gläser und nicht durch übermässige Anstrengung der Accommodation, scharfe Bilder auf der Netzhaut erhalten werden, so sind sie, weil k'' dabei mehr nach vorne gelegen ist, fast gleich gross, wenn nicht grösser als im emmetropischen Auge. Folglich wird S grösser. Bei mässigen Graden wird nun S mitunter > 1; in anderen Fällen $= 1$. Bei hohen Graden bleibt inzwischen S oft < 1, wobei dann meistens die in XLV sub *b* und *c* genannten Ursachen mitwirken.

XLVII. Bei jungen Individuen, deren cataracta congenita mit günstigem Resultate operirt worden, und bei welchen nun $H = \frac{1}{2,5}$ bis $\frac{1}{3}$ ist, ist S oft > 1, wenn H durch ein convexes Glas corrigirt ist. Die Ursache hierfür ist in dem grösseren Netzhautbilde gelegen: während die Linse hinter der Hornhaut durch eine Linse vor derselben ersetzt wurde, kam k'' mehr nach vorne.

XLVIII. Zur Correction der H darf die Brennweite des Glases um so viele Zoll grösser sein, als man es mehr von dem Auge entfernt. Hierbei nun nehmen die Netzhautbilder stets an Grösse zu; man kann die Wirkung mit einem Galiläischen Fernrohre vergleichen, indem das entfernte convexe Glas dem Objectiv entspricht, während das negative Oculär zum hypermetropischen Auge gehörend gedacht werden kann. Die Vergrösserung ist, wie die Berechnung lehrt, bedeutend. Bei $H = \frac{1}{2,5}$ giebt ein

Glas von $\frac{1}{3}$, in $\frac{1}{2}''$ Entfernung vor dem Auge gehalten, eine lineäre Vergrösserung (in Bezug auf das emmetropische Auge vor der Operation) von 1,322 Malen; ein Glas von $\frac{1}{16}$, 3",5 von dem Auge entfernt gehalten, eine Vergrösserung von mehr als 7 Malen.

Bei hohen Graden von H, auch ohne Aphakie, kann man ebenfalls ein relativ schwach convexes Glas als Galiläisches Fernrohr benutzen: für die Praxis bietet dies keine Schwierigkeit dar.

XLIX. Gläser, welche vergrössern oder verkleinern, modificiren den Zusammenhang zwischen der Grösse des Netzhautbildes und der nöthigen Bewegung des Kopfes, um einen Gegenstand (bei stillstehendem Auge) mit der Gesichtslinie zu übersehen; darum scheint uns ein vergrössert gesehener Gegenstand bei Bewegung des Kopfes entgegenzutreten, ein verkleinerter dagegen sich von uns zu entfernen. Bei den Augenbewegungen ist dies nicht der Fall, weil der gestörte Zusammenhang nahezu durch die unrichtige Richtung, in der wir einen Gegenstand schief durch das Glas sehen, compensirt wird.

Gewöhnlich wird die veränderte Richtung beim Sehen theilweise durch Bewegung des Kopfes, theilweise durch Augendrehung erhalten. Und auch dann tritt schon, wiewohl in geringerem Grade, die scheinbare Bewegung der Gegenstände beim Gebrauche von vergrösserenden und verkleinerenden Gläsern auf.

L. Vergrösserende Gläser bewirken, dass die Dimensionen in einer auf der Sehachse vertikalen bene *mit einem Auge* grösser, — Tiefendimensionen (Entfernungsunterschiede) dagegen kleiner nach aussen projicirt werden; verkleinernde Gläser wirken umgekehrt. Die Erklärung dafür ist hauptsächlich folgende: *gleichförmige* Gegenstände oder Flächen, an welchen wir einige Winkel fast stets als gerade zu betrachten berechtigt sind, geben in gleiche Entfernung und unter gleiche Neigung gestellt, bei Grössenunterschied

ungleichförmige perspektivische Netzhautbilder; daher verursachen gleichförmige perspektivische Netzhautbilder bei Grössenunterschied, dass wir sie als ungleichförmige Gegenstände nach aussen projiciren. Gläser verändern nur die Grösse, nicht die Form der Netzhautbilder. Mithin veranlassen sie, dass andere Formen nach aussen projicirt werden, und zwar solche, welche die in ihrer Grösse modificirten Netzhautbilder verursacht haben würden; eine einfache Construction lehrt, dass diese um so weniger tief sind, je grösser das Netzhautbild wird und umgekehrt.

LI. Auch die *stereoscopische Parallaxe für zwei Augen* nimmt durch vergrösserende Gläser ab, durch verkleinerende zu. Die Erklärung hierfür ist darin zu suchen, dass der Winkel, unter dem sich eine vertikal auf der Sehachse gelegene Dimension von einem einigermaassen entfernten Gegenstande zeigt, umgekehrt proportional ist *der Entfernung*, der parallactische Winkel für zwei Augen dagegen ungefähr dem *Quadrate der Entfernungen.*

LII. Bei hohen Graden von Myopie ist die Netzhaut ausgedehnt. Das Netzhautbild wird daher kleiner projicirt als vor der Ausdehnung. Bei der unverhältnissmässig grossen Ausdehnung an dem hinteren Pole wird der direkt gesehene Gegenstand kleiner projicirt als vor der Ausdehnung, kleiner als bei Emmetropie (S. XLII). Trotzdem aber wird die Grösse eines fixirten Punktes richtig geschätzt, und seine Gränzen werden richtig mit dem Finger angegeben. Wenn die Gesichtslinie abwechselnd auf diametral einander gegenüberstehende Gränzen des Gegenstandes gerichtet wird, so hat der veränderte Zusammenhang zwischen der Menge der erforderten Muskelcontraction und der projicirten Grösse des Gegenstandes keine scheinbare Bewegung des Gegenstandes zur Folge.

Mithin wird ein Punkt der Netzhaut durch langsam vorschreitende Ortsveränderung, in Folge der Ausdehnung, in einer Richtung nach aussen projicirt, die von der ur-

sprünglichen abweicht. Wenn nun die Projectionsrichtung für ein und dasselbe percipirende Netzhautelement Veränderung erleiden kann, und der Zusammenhang mit anderen Wahrnehmungsmitteln bei der Ortsveränderung erhalten bleibt, so darf man annehmen, dass diese Richtung auch nicht primär ist, sondern in Verbindung mit anderen Hülfsmitteln der Wahrnehmung zu Stande kam.

LIII. Ebenso kann die Projection des ganzen Sehfeldes, gleichmässig in allen seinen Punkten, bei abnormalen Zuständen modificirt werden. Bei einem gewissen Gleichgewichte der Muskeln des Auges liegt der direkt gesehene Gegenstand gerade vor dem Auge. Wenn die Augenstellung eine andere wird, während wir glauben, dass dasselbe Gleichgewicht noch vorhanden ist, z. B. bei Paralyse oder nach Durchschneidung des in- oder auswendigen geraden Muskels, u. s. w., so projiciren wir das direkt Gesehene noch gerade vor uns, wiewohl es seitwärts liegt; das Sehfeld wird dann unrichtig projicirt. Mit Bezug auf das andere Auge entstehen dadurch Doppelbilder, — gleichseitige, wenn das Auge nach der inneren Seite, gekreuzte, wenn es nach der äusseren abgewichen ist. Wenn aber das abgewichene Auge fortwährend abwechselnd benutzt wird, was namentlich bei der Stellung desselben nach aussen geschieht, so lernt es sich orientiren, unterscheidet seine Eindrücke gut von denen des anderen Auges, projicirt sehr richtig und dadurch wird endlich die Lage von zwei Gegenständen, deren Bild in der fovea centralis der macula lutea des einen oder des anderen Auges sich befindet, sehr verschieden angegeben. Die beiden gelben Flecken werden mithin nicht mehr nach denselben Punkten im Raume projicirt. Ebenso werden bei dieser Abweichung, mögen nun schwache prismatische Gläser angewendet werden oder nicht, gleichseitige Doppelbilder eines Gegenstandes angegeben, deren Netzhautbilder an beiden Augen auf der äusseren Seite der fovea centralis liegen. Das Um-

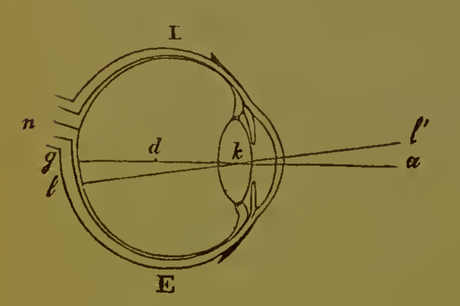
gekehrte kann nach langwieriger oder angeborener Abweichung des einen Auges nach innen statt finden.

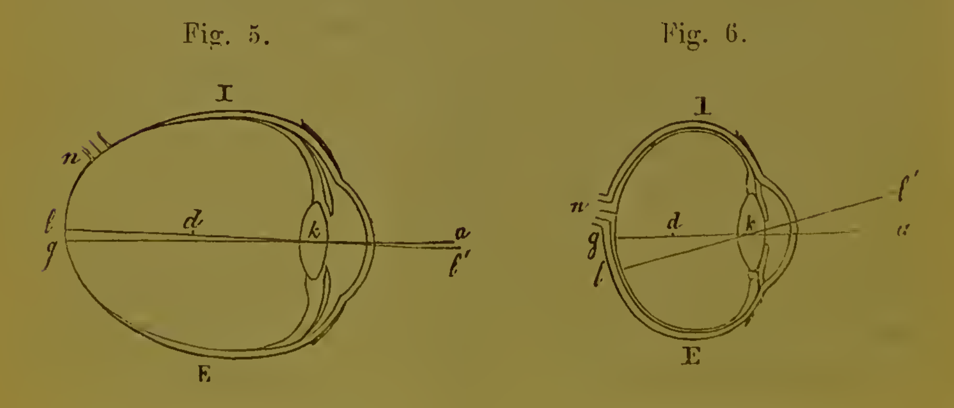
LIV. Hierin ist der Beweis gelegen, das jedes Auge, bei abnormaler Stellung der Sehachse, selbständig lernen kann, sein Sehfeld nach aussen in der gehörigen Richtung zu projiciren, und dass die übliche Projection der beiden Sehfelder auf einander, erlernt sein kann, als Folge des Suchens nach übereinstimmenden Netzhautbildern für die beiden am schärfsten percipirenden gelben Flecken: demzufolge erhielten auch andere Netzhautpunkte, durch Projection ihrer Eindrücke so gut wie auf- oder nahe bei einander, die Bedeutung von ziemlich scharf correspondirenden, welche sie auch wieder verlieren können, da sie nicht von vornherein anatomisch begründet ist.

4. Richtungslinie, Drehpunkt und Bewegungen des Auges bei Emmetropie und Ametropie.

LV. Die lange Achse (Fig. 4 *g a*) des Hornhaut-Ellipsoids schneidet fast vollkommen die Mitte der Hornhaut (Helmholtz, Knapp). Dasselbe gilt für ametropische Augen (*g a* Fig. 5 für ein myopisches, *g a* Fig. 6 für ein hypermetropisches Auge).

Fig. 4.





Die Gesichtslinie $l\,l'$ ist die Richtungslinie, welche, den Knotenpunkt schneidend, den fixirten Punkt des Gegenstandes mit seinem Netzhautbilde verbindet, das, wie mich die Untersuchung mittelst des Augenspiegels direkt lehrte, in der fovea centralis des gelben Fleckes gelegen ist.

Die Gesichtslinie schneidet die Hornhaut an der inneren Seite der Mitte und meistens etwas oberhalb derselben (Senff, Helmholtz, Knapp). Wenn die Brechungsflächen centrirt sind, wie es fast stets ungefähr der Fall ist, so ist die Hornhautachse zugleich Gesichtsachse; sie wird in k durch die Gesichtslinie unter dem Winkel $l\,k\,g$ geschnitten. Diesen Winkel nennen wir α.

LVI. Der Winkel α ist verschieden in dem emmetropischen und dem ametropischen Auge. Wir (Donders und Doyer) fanden in fünfzehn emmetropischen Augen als Maximum 7°, als Minimum 3°,5, im Mittel 5°,082; in zwölf hypermetropischen Augen als Maximum 9°, als Minimum 6°, im Mittel 7°,55; in zehn myopischen als Maximum 5°,25, als Minimum – 1°,5 (das ist 1°,5 an der *äusseren* Seite der Hornhautachse wie in Fig. 5), im Mittel 2°.

LVII. Der verschiedene Werth des Winkels α hat zur Folge, dass die Hornhautachsen, bei paralellen Gesichtslinien, bei Hypermetropen mehr divergiren als bei Emmetropen, bei Myopen dagegen, weniger divergiren oder sogar convergiren. Die Myopen zeigen darum bei richtig gestellten Gesichtslinien scheinbaren strabismus convergens, die Hypermetropen dagegen scheinbaren strabismus divergens.

LVIII. Bei Myopen ist die Ursache der verschiedenen Werthe des Winkels α in der Ausdehnung sämmtlicher Membranen zu suchen, *am meisten* an der äusseren hinteren Seite des Auges, so dass der gelbe Fleck nach innen verschoben wird. Bei Hypermetropen hängt der grössere Werth des Winkels theils von der kürzeren Entfernung von k'' von der Netzhaut ab, theils von angeborener Lage des gelben Fleckes mehr nach aussen.

LIX. Der Winkel α wird gefunden durch Bestimmung des *Winkels* zwischen der Gesichtslinie und der Achse des Ophthalmometers. — *der entsteht*, wenn eine in diese Achse gestellte Flamme gerade in der Mitte der Hornhaut reflectirt gesehen werden soll; das Reflexionsbild wird in der Mitte gesehen, wenn jedes seiner Doppelbilder gleichzeitig den Rand des entgegengesetzten Doppelbildes der Hornhaut erreicht.

LX. Bei dieser Lage der Doppelbilder, giebt der abzulesende Winkel der Ophthalmometerplatten zu gleicher Zeit die halbe Breite der Hornhaut, oder lieber ihre Sehne an. Die Lage des Drehpunktes hinter dieser Sehne wird nun gefunden, wenn man bestimmt, wie gross die nach beiden Seiten gleichen Drehungswinkel sein müssen, um abwechselnd die Endpunkte der genannten Sehne mit demselben Punkte im Raume zusammenfallen zu lassen. Der wahrscheinliche Fehler betrug bei dieser Bestimmung weniger als 1°.

LXI. Zu der Entfernung von der Hornhautbasis und dem Drehpunkte wurde 2,6 Mm, als Höhe des Hornhautsegmentes, hinzugezählt. So wurde die sub *b* vorhandene Reihe in der folgenden Tabelle gefunden; *a* wurde aus der Ametropie berechnet, unter der Annahme, dass die cardinalen Punkte mit denen des schematischen Auges übereinstimmen.

		LAGE DES DREHPUNKTES.					
	a. Länge der Sehachse.	b. Hinter der Hornhaut.		c. vor der hinteren Fläche der Sclerotica.	d. Procentisches Verhältniss.	e. Hinter der Mitte der Sehachse.	f. Winkel α zwischen Hornhautachse und Gesichtswinkel.
	Mm.	Mm.		Mm.		Mm.	
E.	23.53	13.54	:	9.99	= 57.32 : 42.48	1.77	5°.082
M.	25 55	14 52	:	11.03	= 56.83 : 43.17	1.75	2°
H.	22.10	13.22	:	8.88	= 59.8 : 40.2	2.17	7°.55

LXII. Die Tabelle lehrt, dass der Drehpunkt ziemlich

weit hinter der Mitte der Sehaehse gelegen ist, mit der er zusammenfallen sollte.

Für das hypermetropische Auge ist dies namentlich sehr auffallend; vielleicht aber ist die Linse in dem Auge weniger convex als in dem emmetropisehen, in welchem Falle die berechnete Sehachse (Reihe a) zu klein sein würde und der Drehpunkt mithin relativ mehr nach vorne liegen müsste.

LXIII. Die gefundene Lage des Drehpunktes ist vortheilhaft für die Bewegungen. Je näher nämlich der Drehpunkt dem hinteren Ende der Sehachse liegt, um so weniger werden die Bewegungen durch den Gesichtsnerven beschränkt. Der grössere Bulbus im Allgemeinen ist Hauptursache der beschränkten Bewegung des sehr myopischen Auges; die Entfernung wenigstens des Drehpunktes von dem seitlich verschobenen Gesichtsnerven hat relativ nicht viel zugenommen.

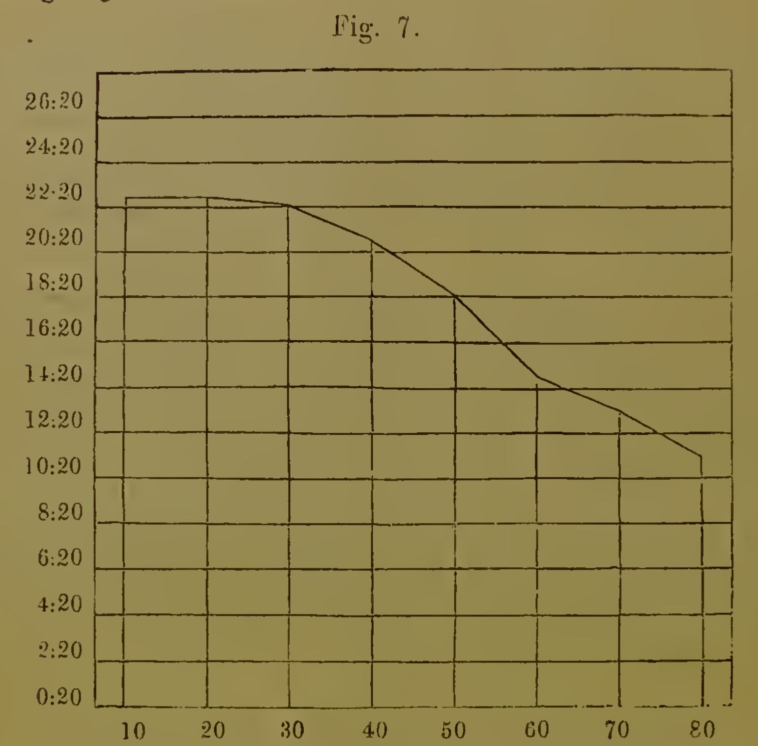
5. Modification der Sehschärfe und der Accommodationsbreite je nach dem Alter.

LXIV. Figur 7 wurde aus den von Dr. Vroesom de Haan *über den Einfluss des Alters auf die Sehschärfe* gemachten Untersuchungen hergeleitet. Diese erschienen Utrecht 1861, und wurden an 281 Individuen ausgeführt, mit 1 oder 2 normalen Augen, ohne Trübung der Medien, ohne störenden Astigmatismus, ohne M > $\frac{1}{50}$ und ohne manifeste H > $\frac{1}{60}$, mit Ausnahme von hohem Alter, in dem H = $\frac{1}{30}$ noch angenommen wurde. Bei der Bestimmung wurde die Ametropie corrigirt.

LXV. In der Figur stellt die Abscisse das Alter vor, die Ordinaten dagegen die entsprechende S, ausgedrückt durch die Fussmenge *d*, welche der Entfernung entsprach, in welcher D = XX erkannt wurde. De Haan verlangte nur das Erkennen von U, A, C, L. Aber so fand er S zu gross. Die Untersuchung lehrte, dass demzufolge

eine Reduction von $\frac{1}{6}$ geschehen musste, welche bei der Verfertigung der Figur berücksichtigt ist.

Fig. 7.



LXVI. Die Figur lehrt, dass S im emmetropischen Auge bis in's 27ˢᵗᵉ Lebensalter fast unverändert bleibt, um von nun an langsam abzunehmen, und in hohem Alter bis auf S = 0,5 zu fallen.

LXVII. Es geht weiter aus derselben hervor, dass bis auf das Alter von 42 Jahren S im Mittel > 1 gefunden wurde. Es kommen aber viele individuellen Unterschiede vor. Wenn S = 1, so kann man noch keine Anomalie voraussetzen; dies ist die Bedeutung von dem, was Snellen als S = 1 annahm. Als Maximum fand de Haan S = 1,7.

LXVIII. Die Versuche sind bei genügender Tagesbeleuchtung gemacht worden. Eine jedesmalige Bestimmung seiner eigenen Sehschärfe ergab dem Dr. de Haan, dass die Beleuchtungsunterschiede sowie die täglichen Schwankungen, von dem Individuum selbst abhängig, Abwechslungen von S = 22,5 : 20 bis auf S = 19,5 : 20 bedingten. Sie sind aber

ziemlich gleichmässig über die verschiedenen Jahre vertheilt, so dass eine Reduction der Beobachtungen auf gleiche Lichtschärfe fast keine Veränderung der Curve verursachte.

LXIX. Die Ursache der mit zunehmendem Alter abnehmenden Sehschärfe liegt sowohl in den Augenmedien als in dem Sehnerven.

LXX. Die auffallend vollkommenere Klarheit, in welcher man den fundus oculi bei jugendlichen Individuen erblickt, beweist, dass die Durchsichtigkeit und Homogenität der Augenmedien in höherem Alter abnimmt; die Linse reflektirt mehr Licht, ihre Farbe wird gelber, die Trennung ihrer Sectoren wird bei der Focal-Beleuchtung deutlicher, der unregelmässige Astigmatismus nimmt zu, die Polyopia monocularis bei unvollkommener Accommodation (trotz der stets kleiner werdenden Pupille) wird intensiver und unregelmässiger, der Glaskörper trüber, reicher an Membranen, Körperchen und Filamenten, welche, wie mich die mikroskopische und entoptische Untersuchung lehrte, den mouches volantes zu Grunde liegen; am wenigsten Veränderung erleidet die Hornhaut, wenigstens auf ihrer Mitte.

LXXI. Von den Veränderungen des Sehnerven verdient hier zuerst Vermeldung die stellenweise Entstehung von knötchenartiger Verdickung der Glashaut der chorioidea, welche Knötchen sich als Erhabenheiten bis in die Netzhaut fortsetzen, und ihre äussere (die percipirende) Schicht hier und da verdrängen und zerstören.

LXXII. Die Sehschärfe nimmt bei hohen Graden von Myopie viel geschwinder ab als bei E mit wachsendem Alter. Bei $M = \frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ is S im 60sten Jahre meistens $< \frac{1}{3}$.

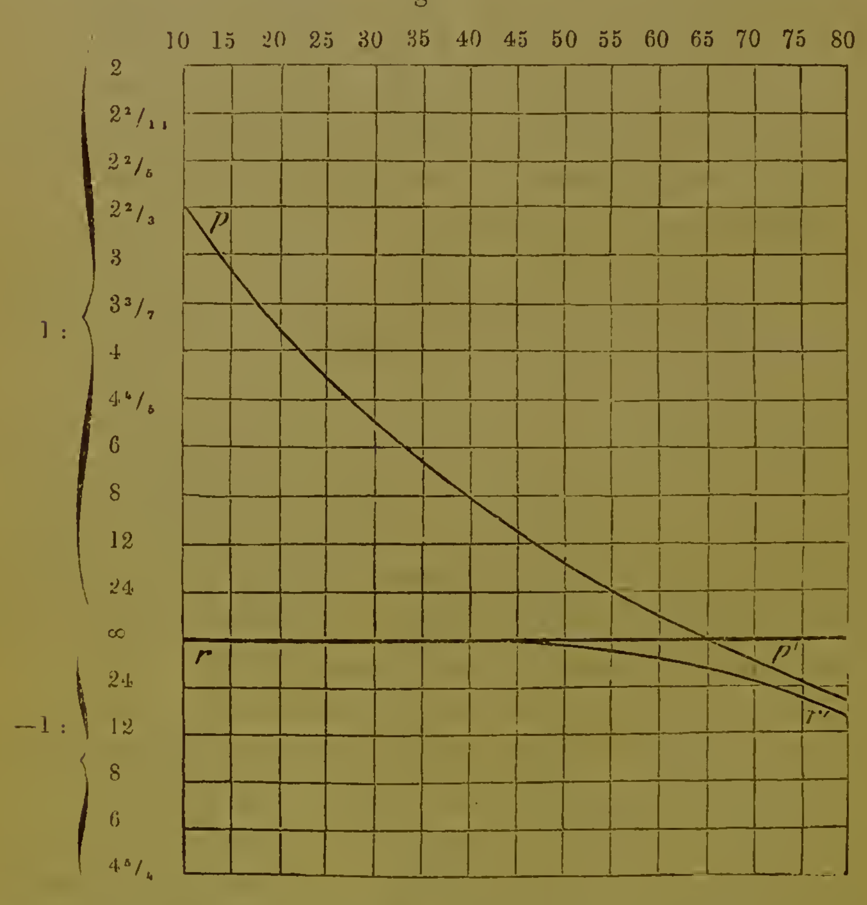
LXXIII. Zunehmende Atrophie der Membranen, durch Ausdehnung derselben, meistens begleitet von chronischer Entzündung und geringeren Reinheit des Glaskörpers ist als Ursache davon anzugeben. Diese Zustände sind mit dem Augenspiegel zu beobachten.

LXXIV. Im Allgemeinen ist die Atrophie im Verhältniss zu dem Grade von M; bei gleichen Graden von M ist sie aber um so bedeutender, je älter das Individuum.

LXXV. Bei H nimmt S mit zunehmendem Alter beinahe in demselben Grade ab als bei E.

LXXVI. Die Accommodationsbreite 1 : A nimmt schon frühzeitig (vom zehnten Jahre an, oder noch früher) etwas ab, und fällt ziemlich regelmässig, so dass sie im 60sten oder 70sten Jahre fast = 0 wird. Im emmetropischen Auge ist dabei ein geringer Grad von H entstanden. Fig. 8 giebt die Details dafür näher an: *p p'* ist die Linie der

Fig. 8.



Nahepunkte, *r r'* die der Fernpunkte, als Function des Alters (von 10—80 Jahren). Nach dem 65sten Jahre sind die Bestimmungen von *p* weniger genau, wegen der Ab-

nahme von S und der kleinen Zerstreuungskreise bei enger Pupille.

LXXVII. Die Ursache der frühzeitigen Abnahme von $\frac{1}{A}$, während doch der Muskelapparat der Accommodation gewiss noch ungeschwächt ist, liegt in der schon frühe zunehmenden Festigkeit der Linse, wobei ihre Fähigkeit der Formveränderung abnimmt. In höherem Alter kommt Atrophie des Muskelapparates hinzu.

LXXVIII. Das Abnehmen von $\frac{1}{A}$ bei E verursacht Presbyopie Pr. Die Gränze, worauf Pr anfängt, ist eine conventionelle. Sehr feine Arbeit kann Abends nicht mehr verrichtet werden, wenn $P_2 > 8''$. Darum habe ich vorgeschlagen Pr mit $P_2 = 8''$ anfangen zu lassen. Dies fällt fast ohne Ausnahme bei E in das 40ste oder 42ste Jahr. Den Grad von Pr finden wir als $Pr = \frac{1}{8} - \frac{1}{P_2}$.

LXXIX. Wenn Pr bevorsteht, so bekommen die Linien $p_1\, p_2\, p$ und $r\, r_1\, r_2$ in Fällen von E immermehr die H ursprünglich zugehörige Form. Fig. 9, welche die Accommodation eines 43 jährigen Individuums vorstellt, liefert hierfür den Beleg (Vergl. damit Fig. 2 bei XXXVI).

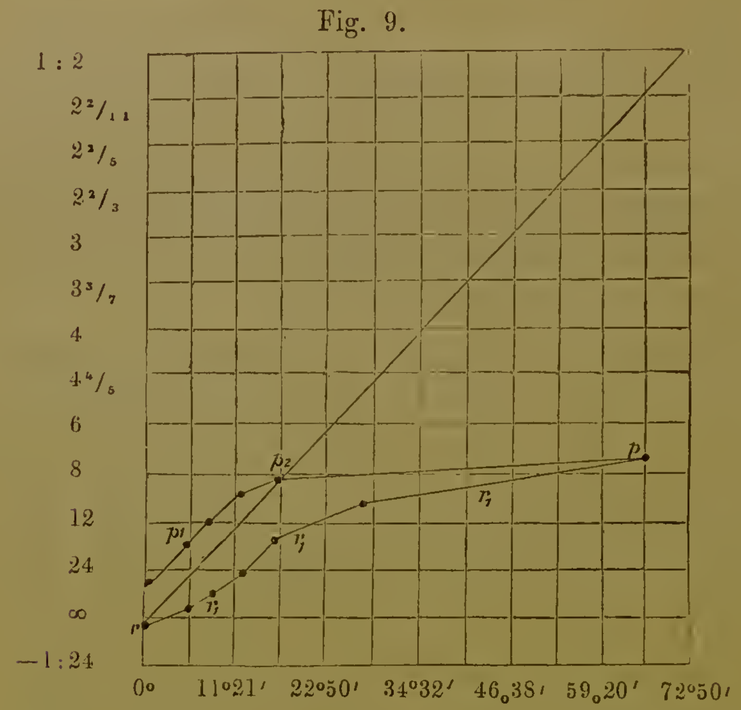
LXXX. Bei M hält die Abnahme von $\frac{1}{A}$ fast gleichen Schritt mit der bei E. Nur bei sehr hohen Graden nimmt $\frac{1}{A}$ geschwinder ab. Uebrigens wird der Verlauf von P durch die Veränderung von R und somit von M modificirt.

M nun ist in den Entwickelungsjahren fast ausnahmsweise progressiv, und zwar meistens um so mehr, je höher der Grad von M. Hohe Grade bleiben lang, die höchsten fortwährend progressiv.

LXXXI. Aus zahlreichen Beobachtungen, die sich über

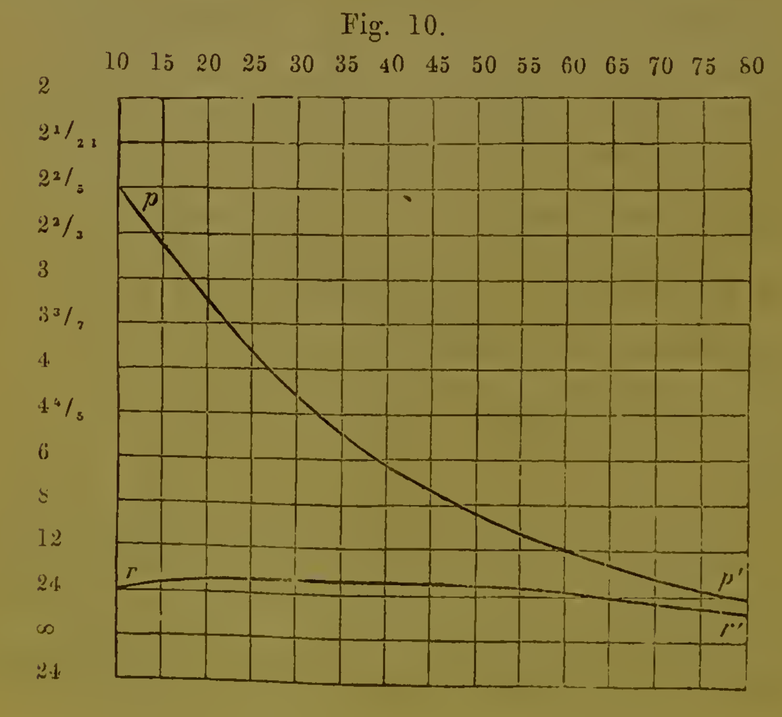
viele Jahren ausdehnen, sowie aus Combinationen, die aus noch vorhandenen, in viel früheren Jahren neutralisiren-

Fig. 9.



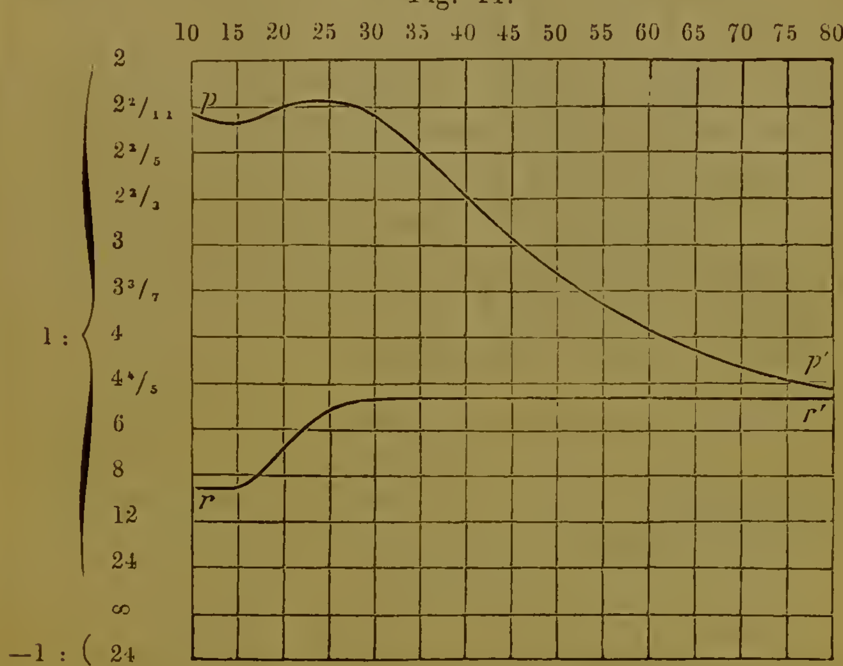
den Brillen, hergeleitet waren, habe ich folgende Sche-

Fig. 10.



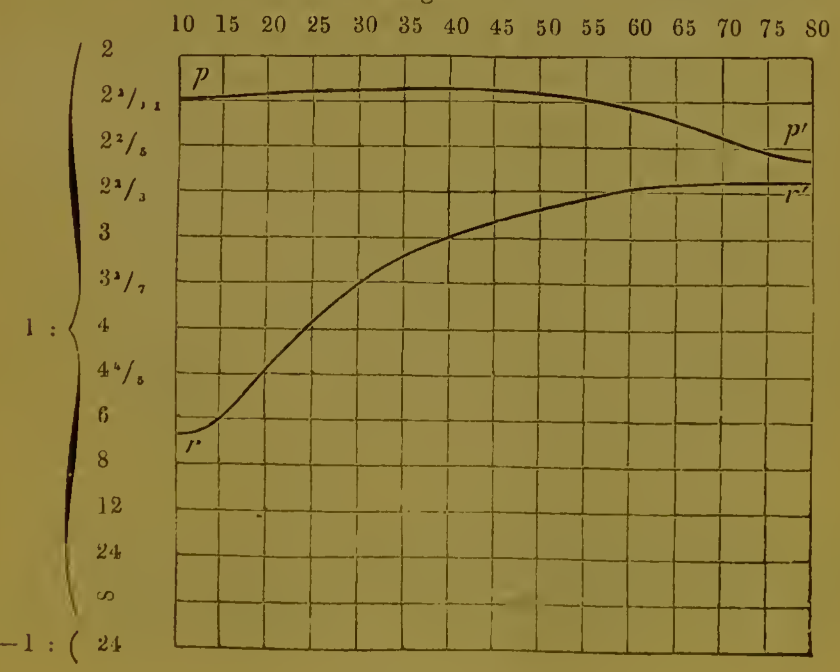
mata entworfen, welche den Verlauf bei einem leichten, fast stationären Grade von M vorstellen (Fig. 10), bei einem hohen, zeitlich progressiven Grade (Fig. 11), bei

Fig. 11.



einem sehr hohen, bleibend progressiven (Fig. 12).

Fig. 12.

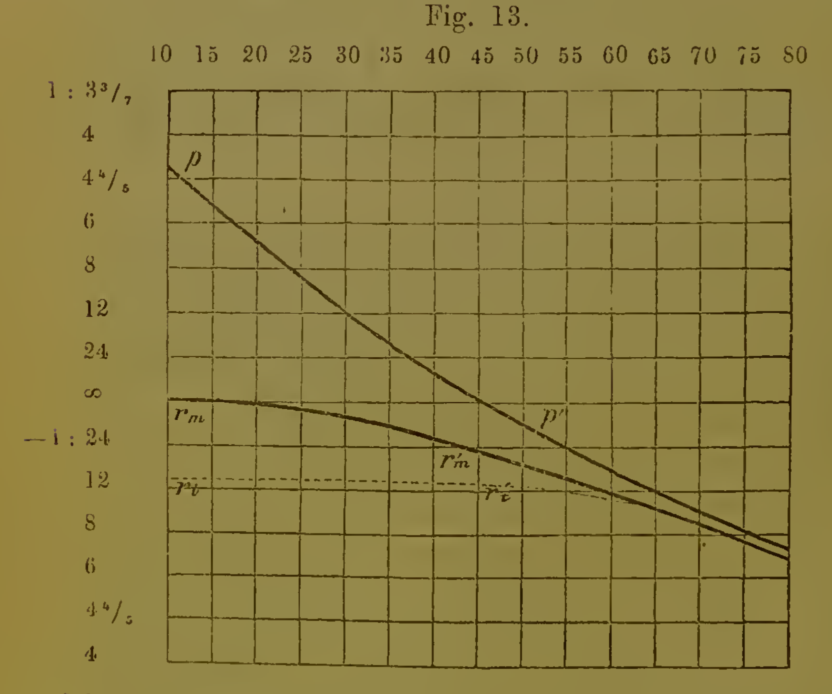


LXXXII. Man ersieht daraus, dass die Annahme, alsob M bei zunehmendem Alter abnähme, auf einem Irrthume beruht. Die Ursache dieses Irrthums ist eine zweifache: erstens ist es wirklich richtig, dass p sich von dem Auge entfernt, und man betrachtete dies als eine Abnahme von M, die nur dann vorhanden wäre, wenn r sich mehr von dem Auge entfernte; zweitens wird die Pupille kleiner, und dadurch kann oft in höherem Alter, trotz der einigermaassen verschlimmerten M, besser in die Ferne gesehen werden, weil die Zerstreuungskreise kleiner geworden sind.

LXXXIII. Geringe Grade von M schliessen die Pr nicht aus; sobald P > 8″, ist sie vorhanden. Bei $M = \frac{1}{24}$, mit $\frac{1}{A} = \frac{1}{24}$, liegt p in einer Entfernung von 12″, so dass Pr $= \frac{1}{8} - \frac{1}{12} = \frac{1}{24}$ ist

LXXXIV. Das in Fig. 13 enthaltene Schema giebt un-

Fig. 13.



gefähr den Verlauf der Accommodation, als Function des Alters, bei H. Die punktirte Linie $r_t\, r'_t$ giebt den Verlauf der totalen H, die Linie $r_m\, r'_m$ dagegen den der ma-

nifesten H. Es geht daraus hervor, dass H anfangs ganz latent, nach und nach mehr manifest, und endlich bei zunehmender H ganz manifest wird.

LXXXV. Viele Beobachtungen sprechen für die Wahrscheinlichkeit, dass Augen, welche etwa im erwachsenen Alter emmetropisch werden, in jüngerem Alter einen geringen Grad von latenter Hypermetropie hatten. Dies schliesst sich an die Beobachtung an, nach welcher M während der Entwickelungsjahre zunimmt.

LXXXVI. Bei H entstehen früher Schwierigkeiten beim Sehen in der Nähe als bei E. Dies ist aber keine Pr, sondern *Asthenopie.* Die Complication von Pr mit dieser ist vorhanden, wenn P, bei Neutralisation von H durch ein convexes Glas, $> 8''$ geworden ist.

LXXXVII. Die Abnahme der Accommodationsbreite bei zunehmendem Alter geschieht auf höchst regelmässige Weise. Es kommen hier keine günstige Ausnahmen vor. $\frac{1}{A}$ kann durch Krankheiten zu rasch abnehmen; ein ausserordentlich langes Fortdauern derselben habe ich aber (an mehreren tausend Fällen) nie gesehen. Wer in seinem 48[ten] Jahre unter den bekannten Verhältnissen keine Brille nöthig hat, ist, ohne dass er es vermuthet, mehr oder weniger myopisch (sieht mit schwachen concaven Gläsern besser in der Ferne); ausserordentliche S kann bewirken, dass dies erst einige Jahre später nöthig wird. Wer dagegen mit S = 1 vor dem 45[ten] Jahre beim Lesen, Schreiben u. s. w. eine Brille braucht, ist fast ausnahmslos mehr oder weniger hypermetropisch (sieht auch in der Ferne mit einer schwach convexen Brille).

6. Folgen von M und H.

LXXXVIII. Die Folgen von M in hohem Grade sind:

a. Abnahme von S, welche Abnahme mit den Jahren sehr zunimmt (LXXII, LXXIII, LXXIV).

b. Beschränkte Bewegung des Augapfels, mit absoluter oder relativer Insufficienz (ungenügende Wirkungskraft) der inneren graden Augenmuskeln.

c. Divergirendes Schielen.

LXXXIX. Bei gut beweglichen emmetropischen Augen können die Gesichtslinien in weniger als 2″ Entfernung von dem Auge unter einem Winkel von 80° oder 70° vor der Mitte der Stirnfläche sich schneiden. Wenn der Punkt *c*, in dem sie sich schneiden, weiter als $2\frac{1}{2}''$ von dem Drehpunkte entfernt ist, entsprechend einem Convergenzwinkel von ungefähr 51°, so kann im Allgemeinen Insufficienz der inneren geraden Augenmuskeln angenommen werden.

XC. Sobald r_2 dem Auge näher liegt als *c*, ist bei M, auch wenn die Bewegung nicht beschränkt ist, relative Insufficienz anzunehmen. Dies findet um so leichter statt, weil die Lage der Gesichtslinien, im Verhältnisse zur Hornhautachse, eine stärkere Convergenz der Hornhautachsen nöthig macht, um die Gesichtslinien in einer gegebenen Entfernung convergiren zu lassen. Meistens ist aber die Bewegung nach innen bei hohen Graden von M auch absolut beschränkt.

XCI. Sowohl M als H stehen mit Schielen in causalem Zusammenhange. Schielen ist vorhanden, wenn das binoculäre Sehen wegen Abweichung der Gesichtslinien aufgehoben ist: die Gesichtslinien schneiden einander dann nicht in dem Punkte, den man genauer betrachtet, so dass das Bild dieses Punktes nur auf einem der Netzhäute in der fovea centralis des gelben Fleckes vorkommt; die andere fovea centralis erhält das Bild eines anderen Punktes.

XCII. M hängt mit *divergirendem* Schielen zusammen. Bei hohem Grade von M ist *relativ* divergirendes Schielen die Norm; indem nämlich die Gesichtslinien für das Sehen in der Ferne richtig gestellt, d. h paralell sind, so reicht das Maximum der Convergenz für das Sehen in der Nähe nicht hin.

XCIII. Bei *relativ divergirendem Schielen* nimmt die Con-

vergenz regelmässig zu, je mehr irgend ein fixirter Gegenstand dem Auge genähert wird, und wird schliesslich fast ihr Maximum erreichen. Wenn der Gegenstand in dieser Distanz einige Zeit verbleibt, so weicht das eine Auge bald nach aussen ab; dies findet allsogleich statt, wenn es mit der Hand gedeckt wird. Wenn man nun auch die Hand wieder wegnimmt, so bleibt die Abweichung trotzdem meistens fortbestehen; die bedeutende Convergenz entstand nur bei dem Bemühen das binoculäre Sehen *anzuhalten*.

XCIV. Die Ursache des relativ divergirenden Schielens ist ganz allein in der erschwerten Convergenz zu suchen; das Streben der beiden Netzhäute nach Zusammenwirkung, welches bei absolutem Strabismus aufgehoben ist, kann hier ungestört fortbestehen.

XCV. Auch die Bewegung nach aussen kann durch die höchsten Grade von M beschränkt sein: beim Sehen in der Nähe ist dann *relativ divergirendes*, — bei dem in der Ferne *relativ convergirendes* Schielen vorhanden, während das binoculäre Sehen für mittlere Entfernungen einen beschränkten Spielraum hat.

XCVI. Das divergirende Schielen ist *absolut*, wenn das binoculäre Sehen für jede Entfernung ganz aufgehört hat. Unter 100 Fällen von divergirendem Schielen kam 70 Mal M in ziemlich hohem Grade an einem oder beiden Augen vor. Die Statistik lehrt mithin einen Zusammenhang dieser Verhältnisse kennen. Aus dem der M eigenen relativ divergirenden Schielen erhellt, dass dieser Zusammenhang ein causaler ist.

XCVII. Wenn die Muskeln sich selbst überlassen sind, so entwickelt sich in der Regel ein Schielen. Eine richtige Stellung der Gesichtslinien wird nur erhalten durch das Streben, um mit beiden Augen dieselben Gegenstände direkt zu sehen, d. i. um mit beiden gelben Flecken die Bilder desselben Gegenstandes aufzunehmen. — Wenn ein Auge blind ist, so weicht es meistens *nach aussen* ab.

XCVIII. Relativ divergirendes Schielen verursacht, dass ungleiche Bilder auf den beiden gelben Flecken beim Sehen *in der Nähe* entstehen: hierdurch nimmt das Bedürfniss an Gleichheit im Allgemeinen ab. Eine anfangende Abweichung, bei der erforderten Convergenz entstanden, erreicht alsbald einen hohen Grad; die Anstrengung, um zu convergiren, unterbleibt um so eher, weil sie Anstrengung der Accommodation mit sich führt und *r* somit dem Auge näher bringt: Mangel an Thätigkeit und verminderte Energie des inneren geraden Muskels gehen daraus hervor. Geringe Abscheu vor Doppelbildern und verminderte Kraft der inneren geraden Muskeln fallen somit zusammen. Wenn die Wirkung dieser Muskeln nun auch beim Sehen in der Ferne nicht mehr hinreicht, so ist absolut divergirendes Schielen entstanden. Es entwickelt sich um so leichter: *a.* weil Mangel an S für die Ferne, die Doppelbilder weniger störend macht; *b.* weil Anstrengung der Accommodation eintritt, und S dadurch für die Ferne geringer wird, sobald der Paralellismus der Gesichtslinien Anstrengung der inneren geraden Augenmuskeln erfordert; *c.* weil das Verhältniss von Gesichtslinie und Gesichtsachse bei Myopen ungünstig ist (LVI) zur Erhaltung des Paralellismus der Gesichtslinien.

XCIX. Hiermit ist die Entstehung der meisten Fälle von divergirendem Schielen erörtert. Die Fälle, die unabhängig von M entstanden sind, sind zum grössten Theile durch Lähmung oder durch Blindheit des einen Auges bedingt (vergl. XCVI). Verwundung, Krämpfe, zusammengesetzte angeborene Anomalien sind relativ seltnere Ursachen.

C. E des einen und M des anderen Auges, mehr aber noch M in geringem Grade des einen, und in hohem des anderen Auges, sind in der Regel von divergirendem Schielen begleitet. Im Allgemeinen muss dies so erklärt werden, dass einestheils das binoculäre Sehen beim Unterschied in der Schärfe und Grösse der Bilder seinen Werth grösstentheils ein-

büsst, anderntheils dass zu der mechanisch schon erschwerten Convergenz Accommodationsanstrengung hinzutritt und somit die Sehschärfe des in geringem Grade myopischen Auges für das Sehen in der Ferne abnimmt.

Bei dieser Form des Schielens haben Manche das Bewusstsein der bestehenden Abweichung und können diese für einige Zeit willkührlich aufheben.

CI. Die Folgen von H sind Asthenopie und Strabismus convergens. Asthenopie kommt häufig vor, Strabismus convergens relativ selten.

CII. Asthenopie verräth sich durch baldige Ermüdung beim Sehen in der Nähe. Das Auge bietet nichts Krankhaftes dar, ist nicht schmerzhaft, auch nicht wenn es angestrengt wird; S ist normal, ebenso die Bewegungen; das Sehen in der Ferne wird für vollkommen gehalten; Lesen aber, Schreiben u. s. w. verursachen ein Gefühl von Spannung über den Augen, die Gegenstände werden undeutlich, man reibt sich die Stirne, schliesst die Augen, fängt die Arbeit von Neuem an, muss aber jetzt die Arbeit noch eher aufgeben. Ruhe heilt die Ermüdung der Augen, welche jetzt wieder um so längere Zeit sich anstrengen können, je länger die Ruhe gedauert hat.

CIII. Asthenopie wurde mit den verschiedenartigsten Anomalien verwechselt, und ihr Sitz hauptsächlich in der Netzhaut gesucht. Manche glaubten ihn in den Accommodationsorganen suchen zu müssen, und betrachteten äussere Zustände und Anstrengung der Augen als Ursachen. Wir haben dargethan, dass Asthenopie nicht Accomodations-, sondern *Refractions*-Anomalie ist, nämlich ein gewisser Grad von H. Anstrengung ist mithin nicht die Ursache; sondern die erforderliche grosse Anstrengung macht Beschwerden und dadurch kommt die ursprünglich vorhandene Anomalie zu Tage.

CIV. Die Entstehung von Asthenopie aus H ist leicht

zu begreifen. Das Sehen in der Ferne erfordert hier schon Anstrengung der Accommodation zur Ueberwindung der H. Die Accommodation, welche auf diese Weise mit einem Deficit anfängt, bleibt alsbald beim Zunehmen der Convergenz in ihren Leistungen zurück. Das Auge übt sich zwar um bei geringer Convergenz relativ stark zu accommodiren (S. XXXVI und XXXVII), der positive Theil aber von $\frac{1}{A_1}$ ist bei mässiger Convergenz schon sehr klein im Verhältniss zum negativen; bei einiger Ermüdung wird er gleich Null, d. h. p_2 entfernt sich bis auf die Distanz, in welcher die feinere Arbeit verrichtet werden muss. Entfernt man den Gegenstand noch mehr, so hilft dies nur für einige Augenblicke, denn, während $\frac{1}{A_1}$ auch dann fast ganz negativ bleibt, erreicht p_2 bei der zunehmenden Ermüdung fast unmittelbar die grössere Entfernung. Für p_2 nun sind alle, auch emmetropische Augen, asthenopisch.

CV. Je grösser $\frac{1}{A}$, um so bedeutender kann H sein, ohne Asthenopie zu verursachen. Da nun $\frac{1}{A}$ mit zunehmendem Alter abnimmt, so äussert sich die Asthenopie um so später, je geringer die H ist. Zufälligerweise gilt hier ungefähr die Regel, dass das Alter, in dem die Asthenopie erscheint, der Nenner des Bruches ist, der die bestehende H vorstellt: bei $H = \frac{1}{8}$ hat man im achten, bei $H = \frac{1}{30}$ im 30sten, bei $H = \frac{1}{n}$ im nten Jahre Asthenopie zu erwarten. Bei $H < \frac{1}{70}$ bleibt Asthenopie aus oder lieber fällt sie mit Pr zusammen.

CVI. Die Symptome von Asthenopie und Pr sind verschieden. Presbyopie schliesst scharfes Sehen, z. B. in einer Enfernung von 8″, ganz aus; bei einer grösseren Entfernung, z. B. von 16″, tritt selbst keine Ermüdung ein; Asthe-

nopie erlaubt das Sehen in einer Entfernung von weniger als 8″ oft sehr wohl, das Sehen in grösserer Distanz, z. B. 16″, ermüdet jedoch auch sehr bald.

CVII. Zur Erklärung von dem Unterschiede zwischen Asthenopie und Pr beachte man Folgendes: 1o. der Verlust einer gewissen Fraction von $\frac{1}{A}$ durch Ermüdung hat bei jugendlichen Hypermetropen viel mehr Einfluss auf P und P_2 als bei Pr, weil auch $\frac{1}{A}$ bei dieser letztern viel geringer ist; 2o. bei Pr nimmt, bei grösserer Entfernung von p^2, der positive Theil von $\frac{1}{A}$ geschwinder zu als bei Asthenopie; 3o. die Linien p, p_1 p_2 und r r_1 r_2 stellen die Veränderung des dioptrischen Systems, nicht die Anstrengung des Muskelsystems vor, deren jedermalige Zunahme, *namentlich bei Pr*, umsoweniger Veränderung in der Linse bedingt, je mehr sie sich ihrem Maximum nähert, woraus erfolgt, dass der positive Theil von $\frac{1}{A}$, als Muskelwirkung ausgedrückt, namentlich bei Pr, im Verhälltniss zum negativen Theil, viel grösser sein würde.

CVIII. Das praktische Resultat unserer Kenntniss von dem Wesen der Asthenopie nun ist das Aufgeben einer langwierigen peinlichen Behandlung, die mit der Erklärung der Unheilbarkeit ablief, und an Stelle dessen die Anwendung einer convexen Brille, die hinreicht, um wenigstens die manifeste Hypermetropie ganz zu neutralisiren, während man davon absteht, das Auge an immer schwächere Brillen systematisch zu gewöhnen.

CIX. Convergirendes Schielen ist in der Regel durch H bedingt. Darauf beruht ganz bestimmt die *typische Form:* welche als periodisches monoculäres Schielen entsteht, meistens von dem vierten bis zu dem siebenten Jahre, mitunter auch später, ohne dass irgendwie über Doppelbilder

geklagt wird; es besteht anfangs meistens nur beim Fixiren von nahegelegenen Gegenständen, später auch von mehr entfernten, kann durch convexe Gläser in seiner Entwickelung gehemmt werden, so lang es *inconstant* geblieben ist, geht aber bald in die constante Form über, mit bleibender Abweichung meistens *von einem und demselben Auge* (Strabismus simplex), mit Verkürzung der inneren geraden Augenmuskeln, übermässiger Beweglichkeit nach innen und beschränkter nach aussen an *beiden* Augen, mit verminderter S des abgelenkten Auges beim direkten Sehen, und auch beim indirekten, insofern das Gesichtsfeld für beide Augen gemeinschaftlich geblieben ist, welche verminderte S allmählig soweit geht, dass das abgelenkte Auge den Gegenstand nicht mehr fixirt, wenn das andere geschlossen wird, sondern sein Bild an einem nach innen gelegenen Theile der Netzhaut aufnimmt, und es dabei besser unterscheidet als beim direkten Sehen, d. h. wenn es auf den gelben Fleck fällt.

CX. Der Zusammenhang zwischen H und Strabismus convergens ist klar: bei stärkerer Convergenz kann H leichter überwunden werden, und dadurch, unter Aufopferung des binoculären Sehens, mit einem Auge schärfer und mehr anhaltend in der Nähe gesehen werden. Hierin liegt auch die Erklärung dafür, dass die Abweichung anfangs nur beim Fixiren vorkommt, und zwar in einem Alter, in dem schärfere Beobachtung anfängt. Ueberdiess kann es nicht auffallen, dass, während die Aufmerksamkeit im Augenblicke der Ablenkung auf einen bestimmten Gegenstand gerichtet wird, weder sein Doppelbild, noch das Bild des Gegenstandes, das im gelben Flecke des abgelenkten Auges entsteht, störend wirken.

CXI. Trotz der natürlichen Erklärung des Strabismus convergens aus H, ist er doch keine nothwendige Folge derselben. Die Anzahl der Hypermetropen, bei denen Schielen entsteht, ist sogar relativ gering. Die Entstehung des-

selben wird daher natürlicherweise in der Regel durch das instinctmässige Festhalten am binoculären Sehen verhindert.

CXII. Zweierlei sind die Zustände, welche die Entstehung von Strabismus bei H befördern; a) diejenigen, welche den Werth des binoculären Sehens vermindern, b) die, welche die Convergenz erleichtern.

CXIII. Der Werth des binoculären Sehens wird vermindert durch Abnahme von S an einem Auge, als Folge erworbener Hornhautflecken, oder angeboren, und dann nicht selten durch Astigmatismus bedingt.

CXIV. Die Convergenz wird leichter: 1°. *absolut*, wenn der Augapfel der Bewegung nach innen wenig Widerstand leistet, und die M. recti interni ein angeborenes Uebergewicht haben über die externi oder leichter durch den Nerven beherrscht werden; 2°. *relativ*, wenn die Gesichtslinie einen besonders grossen Winkel mit der Hornhautachse bildet, und somit beim Sehen in der Ferne bedeutende Divergenz der Hornhautachsen nöthig wird (wirklich fand ich den Winkel α bei Strabismus convergens noch grösser als in gewöhnlichen Fällen von H ohne Schielen).

CXV. Bei constantem Strabismus convergens wird die Ablenkung, beim Versuche in der Nähe zu sehen, nur wenig, die Anstrengung zur Convergenz gewiss viel grösser. Darum verursacht ein gewisser Grad von H, sobald Schielen damit verbunden ist, nicht so leicht Asthenopie. Wenn durch Tenotomie eine richtige Stellung erhalten ist, so sieht man bei Accommodations-Anstrengungen oft wiederum Strabismus convergens auftreten. Das Auge bewegt sich nun (mitunter willkührlich) nach innen, bei einer Anstrengung, die, so lange das Schielen bestand, wenig Bewegung verursachte. Recidiv von Strabismus ist in diesen Fällen nur dadurch abzuhalten, dass man convexe Gläser anwendet, welche die H neutralisiren.

CXVI. Strabismus convergens kann ausnahmsweise von Muskelverkürzung abhängen, durch Paralyse des Antago-

nisten bedingt, weiter von Verwundung, Krampf; oder er ist angeboren, meistens als Theil einer zusammengesetzten Anomalie, endlich kann Schielen bedingt sein durch subconjunctivale Entzündung, welche auf den Muskel übergeht und zum Theile den Zusammenhang von Hornhautflecken und Strabismus erklärt. In allen diesen Fällen weicht das Krankheitsbild von dem oben beschriebenen ab.

Folgende wichtige Sätze resultiren aus dem Obigen:

Hypermetropie verursacht accommodative Asthenopie, die durch activ erzeugten Strabismus convergens überwunden werden kann.

Myopie führt zu musculärer Asthenopie, welche durch passiv entstehendem Strabismus divergens umgangen wird.

7. Regelmässiger Astigmatismus.

CXVII. Die Brennweite des dioptrischen Systems des Auges ist in seinen verschiedenen Meridianen nicht vollkommen dieselbe (regelmässiger Astigmatismus As). Wenn man sich das System, mit Vernachlässigung der Distanzen k′ k″ und h′ h″, auf eine brechende Fläche reducirt denkt, so ist dieselbe nahezu die Spitze eines Ellipsoïds mit drei Achsen. Die längste ist die Gesichtsachse, die beiden anderen liegen in einer vertikalen Ebene senkrecht auf einander. Ihre Richtung ist unbeständig, meistens weicht jedoch die eine nur wenig von der horizontalen, die andere nur wenig von der vertikalen Richtung ab, und in vier Fünftheilen der Fälle ist letztere die kürzere.

Die Meridiane, welche in der Gesichtsachse und einer der kleineren Achsen gelegen sind, sind die Hauptmeridiane, der eine mit Krümmungsmaximum m, der andere mit Krümmungsminimum m'.

CXVIII. Der *unregelmässige* Astigmatismus kann auf zwei Ursachen reducirt werden: a) die Krümmungen der

Meridiane sind untereinander verschieden, ohne dass sie einem Ellipsoïd mit drei Achsen hinreichend entsprechen; b) monochromatische homocentrische in einem und demselben Meridiane gebrochene Strahlen bleiben nicht homocentrisch.

CXIX. Der unregelmässige Astigmatismus hängt fast nur von der in jeder Hinsicht unregelmässigen Kristallinse ab. Dies kann man aus Beobachtungen am eigenen Auge herleiten. Es geht aber auch direkt daraus hervor, dass 1°. die Polyopia monocularis, 2°. die Strahlen, welche an Lichtpunkten sich zeigen, und 3°. die radiären Lichtlinien des entoptischen Spektrums (Listing) — welche Erscheinungen von einer und derselben Ursache herrühren und sich auf unregelmässigen Astigmatismus beziehen, — bei Aphakie ganz verschwunden sind.

CXX. Bei *Aphakie* bleibt nur ein gewisser Grad von regelmässigem Astigmatismus übrig, der sich durch rein lineäre Ausdehnung eines Lichtpunktes in zwei entgegengesetzte Richtungen (als Grenzen des Focalraumes von Sturm) kund giebt, während ein rundes Fleckchen ungefähr der Mitte des Focalraumes entspricht. In 9 Fällen von Aphakie, mit $S = 1$ oder $S > 1$, war, wie aus der Richtung der Grenzlinien des Focalraumes hervorging, *m* 7-mal ungefähr vertikal, einmal vollkommen horizontal. Dem entsprachen die Messungen des radius der Hornhaut im horizontalen und vertikalen Meridiane.

CXXI. Der Grad des *regelmässigen Astigmatismus* As wird ausgedrückt durch $\frac{1}{l'}$, wobei l' die Brennweite einer cylindrischen Linse ist, welche zu *m'* hinzugefügt, die Brennweite in *m'* der in *m* gleich machen würde; l' wird in Pariser Zoll berechnet.

CXXII. Jedes Auge ist astigmatisch. Bei mässigen Graden kann dies auf bekannte Weise dargethan werden. Bei sehr geringen von viel unregelmässigem Astigmatismus be-

gleiteten ist dies schon schwieriger. Die Veränderungen in S beim Herumdrehen eines schwach cylindrischen Glases ($\frac{1}{100}$ c oder $\frac{1}{60}$ c) (Sieh CXXXV) vor dem Auge sind dann aber immer noch beweisend: bei einer gewissen Stellung des Glases erhält man die Summe, bei der entgegengesetzten den Unterschied in dem Astigmatismus von Glas und Auge.

CXXIII. As $< \frac{1}{10}$ ist normal; As $> \frac{1}{10}$ abnormal, weil S dabei im Allgemeinen abgenommen hat und der Gebrauch von cylindrischen Gläsern oft erwünscht ist. As von $\frac{1}{6}$ oder $\frac{1}{7}$ sind nicht sehr selten. Ich habe sogar As von $\frac{1}{4}$ angetroffen.

CXXIV. Thomas Young fand die beschriebene Asymmetrie zuerst an seinen eigenen Augen; in sehr abnormalem Grade fand sie zuerst der Astronom Airy an seinem linken Auge; einzelne Fälle kamen noch in Engeland vor. Whewell führte dafür den Terminus Astigmatismus ein. Auf dem Continente Europas wurde nur ein Fall bekannt, der von einem schweizerischen Geistlichen an seinem eigenen Auge beobachtet wurde. Mit Unrecht werden diese Fälle als curiosa betrachtet. Wir haben gefunden, dass unter 30 oder 40 Augen eines von abnormalem regelmässigem Astigmatismus afficirt ist. Hierher gehören die meisten Fälle von angeborener verminderter S.

CXXV. Ebenso wie der normale, hat der abnormale As beinahe ausnahmslos *hauptsächlich* in der Hornhaut seinen Sitz. Dies ging aus der Vergleichung des Grades von As mit dem Unterschiede der Krümmungsstrahlen der Hornhaut im vertikalen und horizontalen Meridiane, also ungefähr in m und m', hervor. Aber erst wenn die Krümmungsstrahlen in den *Hauptmeridianen der Hornhaut* bekannt sind, kann der positive oder negative Antheil der Linse *richtig* berechnet werden durch Vergleichung mit dem Grade des As und mit m und m' des ganzen Systemes.

CXXVI. Neulich habe ich ein Verfahren ermittelt, um die Hauptmeridiane der Hornhaut und ihre Krümmungs-

strahlen zu finden: die drei Lichter, deren Reflexionsbilder von Helmholtz, nach Bessel's Methode, für die Messungen mit dem Ophthalmometer eingeführt sind, sind in einer vertikalen Ebene um einen Punkt beweglich gemacht, der in der Achse des Ophthalmometers liegt, mit welcher Achse bei der Beobachtung auch die Hornhautachse zusammentreffen muss. Somit können ohne Bewegung des Kopfes die Krümmungsstrahlen durch Drehung der Lichter in allen Meridianen gemessen und so die des Maximums und Minimums gefunden werden.

CXXVII. Aus solchen an 15 Augen gemachten Messungen der Hornhaut, und aus den an denselben Augen genau ermittelten Richtungen der Hauptmeridiane und der Grade von As, wurde die Asymmetrie der Kristallinse in Richtung und Grad berechnet, und es hat sich ergeben, dass — mit wenigen Ausnahmen — mit einer Asymmetrie der Hornhaut eine Asymmetrie der Kristallinse zusammentrifft, dass aber die Asymmetrie der Hornhaut grösser, also überwiegend ist, dass in der Hornhaut *m* sich dem verticalen, in der Kristallinse dagegen dem horizontalen Meridian zu näheren pflegt, dass sie aber keineswegs senkrecht auf einander stehen, und dass die Hauptmeridiane für das ganze dioptrische System des Auges desshalb mehr oder weniger (bisweilen 30° und mehr) von den Hauptmeridianen der Hornhaut abweichen (vergl. Middelburg. *De zitplaats van het astigmatisme.* Diss. inaug. Utrecht 1863.). — Wahrscheinlich gelten dieselben Verhältnisse für den normalen As. Jedenfalls kommt der abnormale As darin mit dem normalen überein, dass *m* in der Regel dem vertikalen, *m'* dem horizontalen Meridiane sich nähert. Er scheint mithin als ein höherer Grad derselben Asymmetrie betrachtet werden zu müssen, die normale Augen besitzen.

CXXVIII. Will man den Grad von As bei verminderter S bestimmen, so muss man zuerst die Richtung der Haupt-

meridiane suchen. Dies kann auf zwei Weisen geschehen: erstens aus der Richtung der Linien, in welcher ein Lichtpunkt an der vorderen und hinteren Grenze des Focalraumes gesehen wird (nur dann, wenn viel unregelmässiger As mit vorkommt, wird diese Richtung unrichtig angegeben); zweitens durch Herumdrehen eines ungefähr corrigirendes Cylinderglases vor dem Auge, wobei das Minimum und namentlich das Maximum von S genau unterschieden und angegeben werden.

CXXIX. Wenn man die Richtung der Hauptmeridiane kennt, so ist der am meisten praktische Weg, um nun R für dieselben zu bestimmen.

Dies geschieht, indem man durch eine schmale Spalte hindurch erst in der Richtung des einen und darauf in der des anderen Meridianes das stärkste convexe oder schwächste concave Glas bestimmt, womit in der Ferne scharf gesehen wird.

CXXX. Auf diese Weise wird in beiden Meridianen die Refraction, also der Grad der Ametropie, oder in einem der Meridiane E gefunden; und mit dem Unterschied in der Refraction der beiden Meridiane ist auch As bekannt.

CXXXI. Wenn E oder H in einem der Meridiane vorhanden ist, so ist es zur Erhaltung eines sehr genauen Resultates wünschenswerth, die Accommodation vor der Bestimmung durch Atropin zu paralysiren. — Bestimmungen von As bei Accommodation für *p* geben, wenn auch *p* für die beiden Hauptmeridiane bei gleicher Convergenz bestimmt wird, in zwei einanderfolgenden Beobachtungen in den beiden Hauptmeridianen nicht selten ungleiche Resultate, wegen des Unterschiedes in der Anstrengung. Im Allgemeinen jedoch scheint dasselbe Auge ungefähr denselben Grad von As bei verschiedenen Accommodationszuständen zu behalten.

CXXXII. Die von Stokes zur Bestimmung des Gra-

des von Astigmatismus construirte astigmatische Linse, corrigirt den As, lässt aber die Ametropie ungehindert bestehen, und ist darum meistens wohl nicht richtig zu stellen, es sei denn dass im *m* und *m'* Myopie vorhanden (was selten der Fall ist), wobei sie dann für Leseproben in der Nähe brauchbar wäre. Sie lehrt auch nicht, was wir überdiess zu wissen verlangen, den Grad der Ametropie in jedem der Hauptmeridiane kennen. In Verbindung mit sphärischen Gläsern ist die Methode von Stokes und sind auch gewöhnliche cylindrische Gläser zur Controle sehr nützlich.

CXXXIII. Auch die Methode von Airy ist nur bei Myopie mit Astigmatismus anwendbar, und giebt auch dann nur ein ziemlich gutes Resultat, wenn wenig unregelmässiger As mit vorhanden ist. Für Nichtmyopen modificirt, genügt die Methode noch viel weniger.

CXXXIV. As kann unterschieden werden in *myopischen* Astigmatismus Am, *hypermetropischen* Ah (der am häufigsten vorkommt) und *gemischten* Ahm oder Amh. Am ist *einfach* wenn E in *m'*, in *m* dagegen M; *zusammengesetzt* dagegen, wenn M sowohl in *m'* als in *m* vorkommt, d. i. M + Am. Ebenso ist Ah *einfach*, wenn E in *m* und H in *m'*, *zusammengesetzt* wenn H in *m'* und *m* d. i. H + Hm vorhanden ist. Beim gemischten As ist H in *m'* mit M in *m* vereinigt und zwar entweder so, dass M *überwiegt* Amh, oder H Ahm.

CXXXV. As wird (obgleich nicht mit mathematischer Genauigkeit) durch cylindrische Gläser corrigirt. S wird hierbei grösser, mitunter um 2–4 Male. Um in *m* und *m'* (und damit fast in allen Meridianen) $R = \infty$ zu erhalten, sind nöthig:

1°. Einfache cylindrische Gläser:

a) positive, meistens biconvexe, mit paralellen Achsen der beiden Cylinder. Sie werden durch $\frac{1}{L}$ c

angedeutet, wobei die Brennweite L in Pariser Zoll angegeben wird. Sie werden bei einfachem Ah angewendet.

b) negative, meistens biconcave, mit paralellen Achsen, $-\frac{1}{L}$ c, bei einfachem Am anwendbar.

2°. Bicylindrische Gläser mit einer concaven und einer convexen Fläche, mit vertikal auf einander gerichteten Achsen $\frac{1}{L}$ c ⌜ $-\frac{1}{L}$ c: bei Amh und Ahm anwendbar.

3°. Sphärisch cylindrische Gläser, die eine Fläche sphärisch, die andere cylindrisch, entweder beide convex $\frac{1}{L}$ s ⌒⌣ $\frac{1}{L}$ c, oder beide concav $-\frac{1}{L}$ s ⌒⌣ $-\frac{1}{L}$ c: bei zusammengesetztem Ah und Am, das ist, bei H + Ah und bei M + Am, machen sie R = ∞. Die gemeinschaftlichen M und H bei diesen zusammengesetzten Zuständen werden durch die sphärische Fläche corrigirt, das übrigbleibende Ah und Am respective durch die convexe und concave cylindrische Fläche.

Diese einfachen Formeln reichen hin zur Bestellung aller dieser Gläser bei Nachet et fils, Opticiens, Rue St. Sévèrin in Paris. Man fülle nur die Werthe von L in Pariser Zoll ein.

Einige Beispiele wollen wir hier folgen lassen:

Reduktion von R = ∞ in allen Meridianen wird erhalten bei

Am 1/6	mit	— 1/6 c.
Ah 1/8	„	1/8 c.
M 1/10 + Am 1/20	„	— 1/10 s ⌒⌣ — 1/20 c.
H 1/12 + Ah 1/10	„	1/12 s ⌒⌣ 1/10 c.
H 1/16 ⌜ M 1/24	„	1/16 c ⌜ — 1/24 c.

Die Reduktion der Gläser für den Fall, dass man R in eine bestimmte endliche Entfernung verlegen will, geschieht nach den bekannten Regeln, meistens durch Modification der sphärischen Fläche.

CXXXVI. Die Symptome des abnormalen As sind:

1°. Verminderte S (durch eigenthümliche Missbildung der Netzhautbilder), mitunter bis auf $^1/_5$.

2°. Indifferenz für ziemlich verschiedene sphärische Gläser.

3°. Das Zerstreuungsbild eines Lichtpunkts, der mit verschiedenen sphärischen Gläsern beobachtet wird, ist in zwei entgegengesetzten Richtungen mehr als gewöhnlich verlängert.

4°. P und R sind sehr verschieden für Linien in zwei entgegengesetzten Richtungen, entsprechend m und m'.

5°. Die Beurtheilung der Dimensionen in genannten Richtungen fällt auch abweichend aus, theils wegen des Unterschiedes in der Dimension der Netzhautbilder bei richtiger Accommodation (wegen des Lagenunterschiedes von k'' in m und m'), theils wegen der Irradiation bei unrichtiger Accommodation.

6°. S wird beim Sehen durch eine Spalte verbessert, namentlich dann, wenn diese m oder m' entspricht.

7°. An einem beleuchteten Viereeke können (in Folge des Mangels an Achromatismus), wenn man ein violettes Glas vor das Auge hält, zwei Ränder blau und die zwei vertikal entgegengestellten roth gesehen werden.

CXXXVII. Alle diese Symptome kann man an sich selbst beobachten, sobald man ein cylindrisches Glas vor das Auge hält und dadurch ziemlich regelmässigen As hervorruft.

CXXXVIII. Objectiv kann man, bei hinreichender Uebung, As aus dem Bewusstsein des Anstrengungsunterschiedes der Accommodation erkennen beim Scharfsehen von in entgegengesetzten Richtungen verlaufenden Netzhautgefässen mit dem Augenspiegel im aufrechten Bilde. Ich kann auf diese Weise sogar ziemlich genau die Ametropie in zwei entgegengesetzten Meridianen und somit den Grad von As beurtheilen. — Auch zeigt sich die Seh-

nervenfläche oval verzogen, wenn sie wie gewöhnlich rund ist (Knapp). Die Verzerrung besteht in entgegengesetzten Richtungen bei der Untersuchung im anfrechten und im umgekehrten Bilde. Formunterschied bei der Untersuchung nach beiden Methoden beweist somit das Vorhandensein von As (Schweigger).

CXXXIX. As kann auch durch Krankheiten der Hornhaut entstanden sein, ist aber dann meistens mit einem hohen Grade von unregelmässigem As combinirt. Dasselbe ist der Fall, wenn die Linse durch partielle Luxation eine schiefe Stellung erhält. Wenn sie zum Theile aus der Pupillenebene verschwindet, so ist dadurch ein hoher Grad von unregelmässigem As bedingt.
